

Université de Montréal

**Influence du vieillissement sur la réorganisation cérébrale dans la
compréhension du discours : apport de l'imagerie optique**

par

Catrine Demers

Département de sciences biomédicales

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences
en Sciences biomédicales
option Sciences du vieillissement

Août 2009

© Catrine Demers, 2009

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

**Influence du vieillissement sur la réorganisation cérébrale dans la
compréhension du discours : apport de l'imagerie optique**

présenté par :
Catrine Demers

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Sven Joubert
président-rapporteur

Bernadette Ska
directrice de recherche

Yves Joanette
membre du jury

Résumé

Au cours du vieillissement, des modifications dans la compréhension du discours ont été rapportées, attribuées en partie aux changements cognitifs encourus lors du vieillissement. Néanmoins, diverses études suggèrent une réorganisation cérébrale lors du vieillissement. Cette étude a pour but d'évaluer l'influence de l'âge lors d'une tâche de compréhension du discours à l'aide de l'imagerie optique. Comme première hypothèse, il est attendu que les participants jeunes auront plus de bonnes réponses au niveau des micropropositions et des macropropositions et des performances équivalentes au niveau du modèle de situation. La deuxième hypothèse est que les réseaux neuronaux utilisés lors de la compréhension du discours subiront une réorganisation cérébrale lors du vieillissement. Trente-deux participants ont pris part à cette étude : 16 jeunes adultes et 16 adultes âgés. Alors que les participants étaient sous enregistrement en imagerie optique au niveau du cortex préfrontal (CPF), ils ont lu des courtes histoires chacune suivie d'une phrase et devaient décider si elle était en accord ou non avec la précédente histoire. Les résultats ne montrent aucune différence entre les groupes au niveau de l'exactitude des réponses, contrairement à la littérature. Le CPF a été davantage activé par les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes témoignant d'une réorganisation cérébrale.

Mots-clés : Vieillissement, Réorganisation cérébrale, Compréhension, Discours, Imagerie optique, Neuroimagerie.

Abstract

During aging, changes in discourse comprehension have been reported, attributed in part by cognitive changes that occur during aging. Moreover, various studies suggest a cerebral reorganization with aging. This study aims to evaluate the influence of aging on cerebral reorganization during discourse comprehension using near infrared spectroscopy (NIRS). The first hypothesis is that younger adults will have better accuracy on micropropositions and macropropositions, but will have equivalent performance for the situation model. The second hypothesis is that the neural networks used for discourse comprehension will be reorganized during aging. Thirty-two participants took part in this study: 16 young adults and 16 older adults. While undergoing NIRS recording on the prefrontal cortex (PFC), the participants read short stories each followed by a sentence deciding if it was in agreement or not with the previous story. Results didn't show any differences for accuracy between the group, in opposition with the literature. The PFC was more activated by the older adults compared to the younger adults showing a cerebral reorganization.

Key words: Aging, Cerebral reorganization, Comprehension, Discourse, Near-infrared spectroscopy, Neuroimaging.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Liste des sigles, abréviations	x
Chapitre 1 : INTRODUCTION.....	1
1. Compréhension du discours.....	2
1.1. Modèle théorique	2
1.2. Fonctions cognitives	4
1.2.1. Mémoires	5
2. Vieillesse.....	7
2.1. Réorganisation cérébrale.....	8
2.1.1. Altérations biologiques	9
2.1.2. HAROLD	10
2.1.3. PASA	11
2.2. Compréhension du discours	12
2.2.1. Bases neuronales	13
2.2.2. Hémisphère droit.....	13
2.2.3. Aires de Broca et de Wernicke	15
2.2.4. Aires spécifiques au discours.....	15
3. Neuroimagerie	17
3.1. Imagerie optique	19
3.1.1. Imagerie optique et vieillissement	22
3.1.2. Microvascularisation.....	22
4. Buts et hypothèses	23

Chapitre 2 : MÉTHODOLOGIE	25
1. Participants.....	26
2. Stimuli	27
3. Procédure.....	29
4. Acquisition des données.....	31
4. Analyses statistiques	32
4.1. Tests neuropsychologiques et données comportementales.....	32
4.2. Données hémodynamiques	33
Chapitre 3 : RÉSULTATS	35
1. Données comportementales.....	36
1.1. Tests neuropsychologiques	36
1.2. Temps de réponse	38
1.3. Exactitude des réponses	38
1.4. Corrélations.....	39
2. Résultats hémodynamiques.....	41
2.1. Lecture des courtes histoires	41
2.1.1. Analyses par paires	41
2.1.2. Analyses par hémisphères.....	43
2.2. Lecture des phrases combinées aux réponses	44
2.2.1. Analyses par paires	44
2.2.2. Analyses par hémisphères.....	46
Chapitre 4 : DISCUSSION	48
1. Données neuropsychologiques	49
2. Données comportementales.....	50
3. Aires spécifiques à la compréhension du discours	54
4. Réorganisation cérébrale dans la compréhension du discours.....	55
5. Influence de la scolarité	57

6. Conclusion	59
BIBLIOGRAPHIE.....	61
Annexe 1 : QUESTIONNAIRES	lxxv
Annexe 2 : COURTES HISTOIRES ET PHRASES	lxxviii
Annexe 3 : TEXTES ET QUESTIONS	lxxxviii
Annexe 4 : MOYENNES POUR LES COURTES HISTOIRES	xcii
Annexe 5 : MOYENNES POUR LES PHRASES ET RÉPONSES	xciv

Liste des tableaux

Tableau I. Principales caractéristiques des participants.....	27
Tableau II. Résultats aux tests neuropsychologiques pour les jeunes adultes comparativement aux adultes âgés.....	37
Tableau III. Le temps de réponse des participants selon l'âge et la condition	38
Tableau IV. L'exactitude des réponses en fonction de l'âge et de la condition	39
Tableau V. Corrélations entre les tests neuropsychologiques et les résultats comportementaux selon les conditions	40
Tableau VI. Comparaison entre les deux hémisphères des variations de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture des courtes histoires pour les jeunes adultes et les adultes âgés	43
Tableau VII. Les variations de la concentration d'HbO et d'HbR comparées entre les deux hémisphères chez les jeunes adultes et les adultes âgés lors de la lecture de la phrase combinée à la réponse	47

Liste des figures

Figure 1. Exemple d'un essai expérimental.....	30
Figure 2. Le positionnement des sources (en rouge), des détecteurs (en bleu) et des canaux (en vert).....	31
Figure 3. Le casque d'imagerie optique positionné sur une participante sur le CPF..	32
Figure 4. Variation de la concentration d'HbO en fonction des canaux et de l'âge... 41	
Figure 5. Variation de la concentration d'HbR en fonction des canaux et de l'âge. .. 42	
Figure 6. Exemple de patrons hémodynamique durant la lecture d'une courte histoire dans le canal 1 pour : A) un jeune adulte B) un adulte âgé.	42
Figure 7. Variation de la concentration d'HbO en fonction des canaux, des conditions et de l'âge.	44
Figure 8. Variation de la concentration d'HbR en fonction des canaux, des conditions et de l'âge.	45
Figure 9. Exemples de patrons hémodynamique durant la lecture d'une phrase suivie de la réponse pour la condition micropropositions dans le canal 1 pour : A) un jeune adulte B) un adulte âgé.	45

Liste des sigles, abréviations

\bar{x} : Moyenne

AB : Aire de Brodmann

ANOVAs : *Analysis of Variance*

CO₂ : Dioxyde de carbone

CW : *Continuous wave*

BOLD : *blood-oxygen-level-dependent*

CPF : Cortex préfrontal

CRIUGM : Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

EROS : *Event-related optical signal*

FSC : Flux sanguin cérébral

HAROLD : *Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*

HbO : Oxyhémoglobine

HbR : Désoxyhémoglobine

HD : Hémisphère droit

HG : Hémisphère gauche

IO : Imagerie optique

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

MCT : Mémoire à court terme

MdeT : Mémoire de travail

MLT : Mémoire à long terme

MMSE : *Mini-Mental State Evaluation*

NIRS : *Near-infrared spectroscopy*

PASA : *Posterior-Anterior Shift in Aging*

PÉ : Potentiels évoqués

s : Secondes

s² : Écart-type

TEP : Tomographie par émission de positons

TEMP : Tomographie d'émission monophotonique

TMCO₂ : Taux métabolique cérébral en oxygène

TR : Temps de réponse

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de recherche, Docteure Bernadette Ska. Elle m'a toujours encouragée et supportée, que ce soit lors de mon stage, de ma maîtrise de recherche ou encore de ma future maîtrise professionnelle. Elle a toujours eu de belles attentions et de beaux mots à mon égard. J'ai beaucoup apprécié travailler sous sa supervision puisqu'elle me donnait toute sa confiance et me laissait libre de décider sur une multitude d'aspects. Merci Bernadette, grâce à vous, mon expérience me promet un avenir réussi.

Je veux aussi remercier Docteure Karima Kahlaoui. Elle a été ma co-directrice lors de mon stage et m'a essentiellement tout appris ce que je sais sur la recherche. Elle a toujours été là pour répondre à mes questions et à m'aider lors de mes études. Sans elle, je ne crois pas que je serais parvenue à terminer mon mémoire avec autant d'adresse. Merci Karima pour tout.

Un gros merci est envoyé à Charles-Olivier Martin, un étudiant plus que compétent, pour avoir été mon stagiaire durant ma maîtrise. Merci de m'avoir aidé à faire le recrutement, les acquisitions et faire en sorte que les passations soient plus agréables. Son aide a été essentiel au bon déroulement du projet et cela a été un grand plaisir de travailler avec lui.

Merci à Docteur Yves Joannette pour m'avoir faite une place dans l'équipe, pour son accueil chaleureux et pour ses encouragements. Merci de m'avoir donné la chance de pouvoir travailler avec vous.

Un merci particulier est adressé à tous les étudiants et professionnels du CRIUGM qui m'ont aidé, que ce soit pour le recrutement, les questions techniques ou au niveau du soutien. Je pense à Joannie Barbeau, Nourane Ennabil, Jean-Sébastien Provost, Ikram Methqal, Alexandra Fortin-Girard et Camille Lajoie.

Merci à l'équipe de l'informatique, de la bibliothèque et des ressources humaines pour m'avoir aidée, avoir répondu à mes questions et réglé mes problèmes. Un merci est particulièrement adressé à la statisticienne Francine Giroux qui m'a aidée dans les moments les plus importants. Merci d'avoir été là et d'avoir créer de la disponibilité pour pouvoir m'aider.

Merci à tous les participants qui ont bien voulu prendre part de façon généreuse à mon étude.

Je tiens à remercier mes parents qui m'ont toujours encouragée durant mes études. Merci de me supporter lors des moments difficiles, d'être fière de moi et de croire en moi.

Finalement, un merci tout spécial est adressé à Philippe Schingh-Massé. Merci de m'avoir soutenue, encouragée et poussée à continuer. Merci de m'avoir rassurée dans les moments de doute et d'incertitude. Son réconfort a été essentiel lors des moments les plus difficiles. Merci d'être à mes côtés et de faire en sorte que mes études ont été, et seront, plus faciles.

Chapitre 1
INTRODUCTION

1. Compréhension du discours

La compréhension du discours est l'action d'intégrer tous les éléments d'un discours, que ce soit dans un texte écrit ou un propos oral, afin d'en saisir le contenu et le sens. La présente étude se penche plus spécifiquement sur la compréhension du discours écrit. La compréhension du discours est un processus complexe. En effet, ce processus est composé de plusieurs opérations telles que la perception des mots, l'analyse syntaxique, l'analyse sémantique ainsi que les inférences (Goldman, Golden, & van den Broek, 2007). Le discours est aussi représenté par plusieurs niveaux tels que les phonèmes, les mots, la syntaxe, les propositions et les messages globaux (Graesser, Millis, & Zwaan, 1997). Il est possible d'appréhender la compréhension du discours en analysant ses diverses composantes qui seront soit traitées au moment de la lecture ou qui seront emmagasinées pour un traitement ultérieur (Kintsch & van Dijk, 1978). Plusieurs modèles théoriques de la compréhension du discours ont été proposés : le modèle de construction-intégration (*Construction-Integration model*) (Kintsch, 1988), le modèle de construction-intégration contraint par les capacités (*Capacity-Constrained Construction Integration model*) (Goldman & Varma, 1995; Goldman, Varma, & Côté, 1996) ainsi que la théorie du paysage (*Landscape theory*) (van den Broek, Risdén, & Husebye-Hartman, 1996; van den Broek, Young, Tzeng, & Linderholm, 1998). L'étude actuelle se base sur le modèle de construction-intégration de Kintsch (1988), un modèle qui sera élaboré plus en détail dans la prochaine section.

1.1. Modèle théorique

La plupart des modèles théoriques sont des développements de deux publications majeures, celle de Kintsch, *The representation of meaning in memory*, en 1974 et *Toward a model of text comprehension and production*, par Kintsch et van Dijk, en 1978 (Goldman, Golden, & van den Broek, 2007). Le modèle de construction-intégration de Kintsch a été publié dans la décennie suivante (1988). Ce modèle décrit la compréhension de texte comme étant une construction progressive qui se fait segment par segment lors de la lecture du texte (Ska & Duong, 2005). Ce modèle

suggère que la compréhension repose sur quatre niveaux de représentation : le niveau de surface, la base du texte, le modèle de situation et l'organisation du texte.

Le premier niveau, nommé niveau de surface ou forme linguistique du texte, fournit le matériel à interpréter, comme les mots, la syntaxe, la grammaire et les référents utilisés. Le deuxième niveau est la base de texte et il correspond au contenu sémantique composé d'une liste de propositions. La proposition est la plus petite unité de sens (Ska & Duong, 2005) et elle est composée d'un prédicat et d'un ou de plusieurs(s) argument(s) (Singer & Leon, 2007). Le prédicat est un concept de propriété ou de relation (Denhière & Baudet, 1992) et correspond généralement à un verbe ou un autre mot indiquant une relation (Singer & Leon, 2007). L'argument, quant à lui, est un concept d'individu et de catégorie (Denhière & Baudet, 1992) et correspond généralement aux substantifs (Singer & Leon, 2007). Par exemple, si on analyse la phrase « La tortue a devancé le lièvre. » (exemple tiré de : Le Ny, 1979). Le prédicat dans cette phrase est le verbe « devancer ». Le nom « tortue » est un argument et le nom « lièvre » en est un deuxième. L'analyse propositionnelle doit être transcrite comme suit, avec le prédicat en majuscules et les arguments dans l'ordre : DEVANCER (tortue, lièvre). Ce deuxième niveau, le niveau de base de texte, comprend deux ensembles de propositions : les micropropositions et les macropropositions. Les micropropositions correspondent à la liste complète des propositions qui sont les unités sémantiques indivisibles du texte. Elles révèlent la cohérence locale du texte. Cette cohérence est assurée par la répétition des arguments dans plusieurs micropropositions (Kintsch & van Dijk, 1978). Les macropropositions correspondent à un ensemble sémantique cohérent issu du traitement progressif des micropropositions auxquelles s'ajoutent les connaissances préalables du lecteur. Les macropropositions sont donc construites et doivent être inférées par le lecteur (Kintsch, 1988) pour que le discours constitue un tout cohérent (Kintsch & van Dijk, 1978). Les macropropositions permettent ainsi la construction de la cohérence globale du texte. Le troisième niveau de représentation, le modèle de situation, est la représentation mentale construite lors de la lecture et du traitement d'un texte (Radvansky & Dijkstra, 2007). Le modèle de situation se construit graduellement

lorsque la base du texte est analysée et il peut être modifié, remplacé ou augmenté lors de l'ajout d'informations par la lecture progressive du texte (Ska & Duong, 2005). Le quatrième niveau, qui est l'organisation du texte, est la manière dont le texte est structuré par rapport à un modèle prédéfini. Ainsi, lors de la lecture, le lecteur pourra prévoir l'analyse des informations subséquentes (Ska & Duong, 2005). En résumé, la lecture d'un texte passe par plusieurs niveaux de traitement et interagit avec différents phénomènes afin d'accéder à la compréhension. Enfin, le modèle de construction-intégration de Kintsch (1988) fait intervenir deux notions : la construction et l'intégration. Le processus de construction se fait au niveau de la base du texte. Celle-ci est construite à partir des données linguistiques, i.e. le niveau de surface, ainsi que les connaissances du lecteur. La phase d'intégration, quant à elle, assimile la base du texte comme un tout cohérent (Kintsch, 1988).

1.2. Fonctions cognitives

En plus des différents niveaux et phénomènes qui sont traités lors du processus de compréhension de discours, d'autres fonctions cognitives interviennent lors du traitement du texte. Par exemple, la compréhension de texte fait appel à l'attention, la conscience, la perception, la résolution de problèmes, la prise de décision, le raisonnement et les mémoires (Graesser, Millis, & Zwaan, 1997; Kintsch & van Dijk, 1978). Plus précisément, les mémoires impliquées sont la mémoire de travail (MdeT), la mémoire à court-terme (MCT) et la mémoire à long-terme (MLT) (Graesser, Millis, & Zwaan, 1997). La MdeT permet le maintien d'informations en mémoire afin d'être utilisées. Elle est composée des éléments contenus dans la MCT et elle peut contrôler l'attention sur les informations voulues (Cowan, 1995). Plus précisément, la MdeT est composée d'une capacité de traitement ainsi qu'une capacité de stockage (Daneman & Merikle, 1996). La MCT, quant à elle, est définie comme étant une mémoire qui oublie rapidement les informations et dont la durée de rétention est de l'ordre de 20 à 30 secondes (Reed, 2007). Ainsi, seulement un nombre limité d'informations peut être présent dans la MCT durant un court laps de temps. Les informations passent de la MCT à la MLT lorsqu'elles sont assimilées (Reed, 2007). La MLT est une mémoire qui assure le stockage d'informations et

celle-ci n'a aucune limite (Reed, 2007). Les mémoires sont particulièrement importantes puisque ce sont des fonctions qui interagissent avec la compréhension du discours. Néanmoins, d'autres fonctions cognitives ont été proposées comme pouvant influencer la compréhension de texte, soit la vitesse de traitement et la capacité d'inhibition (Chesneau, Jbabdi, Champagne-Lavau, Giroux, & Ska, 2007). L'emphase est ici mise sur les mémoires qui seront maintenant étudiées en lien avec la compréhension du discours.

1.2.1. Mémoires

Les différentes mémoires ont des rôles très importants lors de la compréhension du discours. La MCT admet le passage du niveau de surface au niveau de base. En effet, cette mémoire emmagasine les informations du niveau de surface (Chesneau, Jbabdi, Champagne-Lavau, Giroux, & Ska, 2007). Toutefois, c'est la MdeT, plus particulièrement, qui a un rôle clé dans la compréhension du discours. Effectivement, Kintsch et van Dijk (1978) définissent la compréhension de texte comme un processus basé sur la formation d'une sémantique cohérente de la base de texte en termes de processus cycliques qui sont contraints par les limites de la MdeT. Un nombre réduit de propositions est traité à la fois et ces ensembles sont alors traités de manière séquentielle, effectuant ainsi des cycles. Certaines propositions sont sélectionnées comme étant plus pertinentes et sont alors emmagasinées dans la MdeT. Ainsi, la MdeT effectue le traitement de quelques propositions sémantiques à la fois. Elles proviennent du niveau de surface, de la base de texte ou encore des connaissances préalables et deviennent l'objet d'inférences (Chesneau, Jbabdi, Champagne-Lavau, Giroux, & Ska, 2007). Toutefois, cette MdeT a une limite et elle est différente chez chaque individu. Certaines propositions peuvent aussi être emmagasinées dans la MLT (Kintsch & van Dijk, 1978). La MLT permet la récupération et la manipulation des informations qui ont été traitées antérieurement et emmagasinées, construisant ainsi la cohérence (Chesneau, Jbabdi, Champagne-Lavau, Giroux, & Ska, 2007). Cette mémoire assure aussi la construction d'inférences lors de la recherche d'informations dans la MLT (Kintsch & van Dijk, 1978).

La relation entre la MdeT et la compréhension du discours n'est pas totalement élucidée. Il est difficile de séparer la MdeT des autres processus. En effet, certains auteurs croient que la MdeT est influencée par d'autres fonctions cognitives, telles que les capacités verbales ainsi que la vitesse de traitement (Kintsch & van Dijk, 1978). Or, une personne qui a peu d'habilités verbales ou encore qui traite les informations moins rapidement aura une capacité plus réduite de la MdeT. Néanmoins, plusieurs études, notamment celle de Waters et Caplan (2005), ont trouvé une corrélation entre la MdeT et la compréhension du discours. Également, une méta-analyse de 77 études incluant 6 179 participants a trouvé une association entre la MdeT et la compréhension du langage (Daneman & Merikle, 1996). Plus particulièrement, cette méta-analyse a indiqué que les mesures évaluant la MdeT combinant un traitement et une capacité d'emmagasiner les informations verbales (par exemple : empan de lecture) permettaient de mieux prédire les capacités à la compréhension que des mesures qui évaluent seulement la capacité d'emmagasiner (par exemple : empan de mots, de lettres). De plus, la MdeT évaluée par un traitement et une capacité d'emmagasiner au niveau mathématique (par exemple: empan de chiffres à l'envers) est aussi une mesure qui prédit la compréhension. Plus particulièrement, une étude trouve une corrélation entre la compréhension de phrases et la MdeT verbale lorsque l'évaluation est effectuée *off-line*, i.e. après la lecture des phrases, tandis qu'il n'y a aucune corrélation *on-line*, i.e. lors de la lecture des phrases (DeDe, Caplan, Kemtes, & Waters, 2004). Au niveau de l'âge, les auteurs suggèrent qu'il y a un effet direct de l'âge lors des mesures *on-line*, mais aucun effet de l'âge lors des mesures *off-line*. L'étude d'Ehrlich, Brébion et Tardieu (1994) évaluant des participants jeunes et âgés dans une tâche de compréhension de textes a trouvé une corrélation entre la vitesse de traitement et la MdeT chez les jeunes adultes. Cependant, la MdeT est corrélée à la capacité de stockage des informations chez les adultes âgés (Ehrlich, Brébion, & Tardieu, 1994). En résumé, la MdeT joue un rôle important lors de l'évaluation de la compréhension du discours. Toutefois, il semble que celle-ci a une relation différente avec la compréhension du discours chez les adultes âgés. Il faut noter que la compréhension du discours n'est pas totalement préservée lors du vieillissement en plus du déclin de certaines fonctions cognitives.

2. Vieillissement

Au cours du vieillissement, des composantes de la compréhension du discours déclinent alors que d'autres restent stables. Les informations provenant directement du texte, retrouvées dans le niveau de surface et la base de texte, sont mieux rappelées par les jeunes adultes que les adultes âgés (Radvansky, Zwaan, Curiel, & Copeland, 2001). Néanmoins, il a été montré que les adultes âgés ont une performance équivalente aux jeunes adultes en ce qui a trait à la construction du modèle de situation (Radvansky & Dijkstra, 2007; Radvansky, Zwaan, Curiel, & Copeland, 2001).

D'une part, certaines différences entre les jeunes adultes et les adultes âgés dans la compréhension du discours au niveau de surface et de la base du texte peuvent être expliquées par les capacités cognitives. En effet, plusieurs fonctions cognitives déclinent lors du vieillissement. Les principales fonctions à subir ce déclin sont la MdeT (Carpenter, Miyake, & Just, 1994), la mémoire épisodique (Allen, Sliwinski, & Bowie, 2002; Piolino, Desgranges, Benali, & Eustache, 2002), la capacité d'inhibition (Hasher & Zacks, 1999) ainsi que la vitesse de traitement (Salthouse, 1996). La MdeT a été de nombreuses fois retrouvée corrélée à la compréhension et elle peut donc être considérée comme un facteur non négligeable. Même au niveau du vieillissement, la MdeT a été retrouvée en corrélation à la performance dans une tâche de compréhension de phrases chez des adultes âgés (Light, 1990). Plus précisément, une étude évaluant l'influence de la MdeT sur la compréhension de textes narratifs et d'exposés a trouvé que ce facteur permet d'expliquer certains changements dans la compréhension durant le vieillissement (De Beni, Borella, & Carretti, 2007). Plusieurs autres études attribuent de la même façon l'altération de certaines composantes dans la compréhension du discours aux modifications dans la MdeT au cours du vieillissement (Davis & Ball, 1989; Light & Anderson, 1985; Stine & Wingfield, 1990; Tun, Wingfield, & Stine, 1991; Ulatowska, Hayashi, Cannito, & Fleming, 1986).

D'autre part, le maintien de performance au niveau du modèle de situation peut être attribué à la différence de stratégies utilisées par les jeunes adultes et les adultes âgés. Trois hypothèses ont été avancées par Radvansky (1999). Tout d'abord, les adultes âgés sont plus sélectifs dans l'information à retenir et à traiter. Les adultes âgés utilisent davantage le niveau de surface et la base de texte comme un échafaudage temporaire afin de construire un modèle de situation (Radvansky, Curiel, Zwaan, & Copeland, 2001). Ils seraient ainsi meilleurs que les jeunes adultes à identifier les sections pertinentes au modèle de situation. Ensuite, les adultes âgés peuvent davantage s'appuyer sur les connaissances qu'ils ont déjà emmagasinées durant leur vie puisqu'ils ont plus d'expérience. Effectivement, les fonctions qui restent préservés lors du vieillissement sont la mémoire sémantique (Allen, Sliwinski, & Bowie, 2002; Piolino, Desgranges, Benali, & Eustache, 2002) ainsi que l'intelligence cristallisée de manière générale, comme les connaissances générales et le vocabulaire (Anstey & Christensen, 2000; Burke & Mackay, 1997; Lemaire & Bherer, 2005). Enfin, les adultes âgés sont aussi performants que les jeunes adultes dans la construction du modèle de situation car ils maintiennent un niveau élevé d'inférences durant la compréhension (Hamm & Hasher, 1992). Donc, les fonctions cognitives et les différentes stratégies pourraient ensemble expliquer les performances aux différentes composantes de la compréhension du discours lors du vieillissement. En conséquence, ces différences entre les jeunes adultes et les adultes âgés devraient être considérées en relation avec les bases neuronales lors de la compréhension du discours.

2.1. Réorganisation cérébrale

Quoique beaucoup d'études aient évalué la réorganisation cérébrale durant le vieillissement, seulement une étude a utilisé une tâche de compréhension du discours (Scherer et al., 2007). Généralement, les études dans le domaine du vieillissement sont en accord avec deux modèles : le modèle HAROLD (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*) (Cabeza, Anderson, Locantore, & McIntosh, 2002) et le modèle PASA (*Posterior-Anterior Shift in Aging*) (Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008). Ces deux modèles montrent respectivement une réorganisation inter-

et intra-hémisphérique se résumant par une bilatéralisation de l'activité cérébrale chez les adultes âgés et une activité accrue au niveau du cortex préfrontal (CPF) corrélée à une diminution de l'activité dans les régions postérieures. Paradoxalement, le CPF est une des régions les plus touchées par le vieillissement.

2.1.1. Altérations biologiques

En effet, des pertes au niveau du volume du CPF ont constamment été retrouvées lors du vieillissement (Burke & Barnes, 2006; Greenwood, 2007; Hedden & Gabrieli, 2005). Ces pertes sont globalement dues à une diminution de la matière grise qui se traduit par une perte de synapses, une diminution des dendrites ainsi qu'une perte de la matière blanche (Greenwood, 2007). De plus, il y a des altérations au niveau des systèmes de neurotransmetteurs (Hedden & Gabrieli, 2005), des changements dans la morphologie dendritique, dans la connectivité cellulaire, un dérèglement du calcium et de l'expression génique (Burke & Barnes, 2006). Néanmoins, malgré les altérations biologiques au niveau du CPF, cette région a souvent révélé une activité cérébrale élevée (Cabeza, Anderson, Locantore, & McIntosh, 2002; Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008; Greenwood, 2007). De plus, un épaississement du cortex dans les régions postérieures a été retrouvé lors du vieillissement (Greenwood, 2007) bien que ces régions soient moins activées chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes (Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008). Ainsi, les pertes biologiques ne vont pas nécessairement de pair avec les pertes fonctionnelles et cognitives observées lors du vieillissement (Burke & Barnes, 2006; Greenwood, 2007; Hedden & Gabrieli, 2005). Des explications ont été proposées pour démystifier la rupture de corrélation au niveau du CPF. Par exemple, Greenwood (2007) a proposé que l'atrophie du CPF mène à des déficits cognitifs et que ces déficits mènent à leur tour à des changements au niveau des stratégies. Ces nouvelles stratégies apportent ainsi un changement au niveau de l'innervation corticale. Cette augmentation de connections nerveuses au niveau du cortex est stimulée par l'atrophie et se situe donc au niveau de l'atrophie. Ainsi, il y a une augmentation de l'activité dans la région atrophiée, i.e. le CPF. Toutefois, ceci n'est qu'un exemple d'explication et il est difficile d'élucider ce manque de corrélation

entre pertes et activités cérébrales dans le CPF. Il reste que plusieurs études corroborent une activité cérébrale accrue au niveau du CPF, de manière inter- et intra-hémisphérique et elles seront maintenant décrites plus en détail.

2.1.2. HAROLD

La réorganisation cérébrale lors du vieillissement peut se faire de manière inter-hémisphérique, telle que montrée par le modèle HAROLD (Cabeza, Anderson, Locantore, & McIntosh, 2002). Il est important de noter que ce modèle ne reflète pas l'adoption d'une stratégie alternative, contrairement à Greenwood (2007), mais bien un changement dans l'architecture neuronale (Dolcos, Rice, & Cabeza, 2002). Ce modèle se définit comme étant la bilatéralisation, ou une réduction de l'asymétrie, des activations dans le CPF chez des adultes âgés qui performent aussi bien que les jeunes adultes dans une tâche donnée. Ces résultats ont été reproduits lors de diverses tâches avec des techniques de neuroimagerie telles que la tomographie par émission de positons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique (IRMf). Le modèle HAROLD a été retrouvé dans des tâches d'encodage épisodique et de récupération sémantique (Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002; Stebbins et al., 2002), de récupération en mémoire épisodique (Grady, Bernstein, Beig, & Siegenthaler, 2002) de MdeT (Reuter-Lorenz et al., 2000), de perception (Grady et al., 1994) et de contrôle d'inhibition (Nielson, Langenecker, & Garavan, 2002). Le modèle HAROLD a suscité la question à savoir si cette réduction de l'asymétrie est due à une compensation ou à une dédifférenciation. En effet, deux hypothèses ont été mises de l'avant dans l'étude de Cabeza et ses collaborateurs (2002). L'hypothèse de compensation pose que la bilatéralisation du CPF aide les adultes âgés à contrer les déficits neurocognitifs. Cette hypothèse est vérifiée lorsque cette diminution est présente chez les adultes âgés qui ont une performance similaire aux jeunes adultes. Par contre, l'hypothèse de dédifférenciation propose que cette bilatéralisation reflète la difficulté des adultes âgés à recruter des mécanismes neuronaux spécialisés et présents durant l'enfance. Cabeza et ses collaborateurs (2002) ont donc évalué 12 jeunes adultes, 8 adultes âgés qui réussissent aussi bien que les jeunes adultes ainsi que 8 adultes âgés qui réussissent moins bien que les jeunes adultes. Ils ont été

classés selon une batterie de tests neuropsychologiques. Ils ont été soumis à une tâche de rappel et de reconnaissance à l'aide de la technique de neuroimagerie TEP. Les résultats indiquent que ce sont les adultes âgés qui réussissent aussi bien que les jeunes adultes qui ont des activations bilatérales au niveau du CPF. Les adultes âgés qui réussissent moins bien que les jeunes adultes ont, quant à eux, des activations similaires aux jeunes adultes, c'est-à-dire des activations latéralisées au niveau du CPF. Toutefois, ce groupe d'adultes âgé semble les utiliser inefficacement. Conséquemment, c'est l'hypothèse de compensation qui prône sur l'hypothèse de différenciation. La bilatéralisation des activations semble donc être bénéfique à la performance. Enfin, les adultes âgés plus performants réorganisent les fonctions neuronales entre les deux hémisphères et engagent ainsi le CPF de manière bilatérale afin de contrer le déclin neuronal associé à l'âge. Néanmoins, il semble y avoir, en plus d'une réorganisation inter-hémisphère, une réorganisation se situant au niveau du même hémisphère, i.e. une réorganisation intra-hémisphérique.

2.1.3. PASA

Une réorganisation cérébrale lors du vieillissement a aussi été retrouvée au sein du même hémisphère. En effet, plusieurs études ont observé une diminution de l'activité cérébrale dans les régions postérieures (occipito-temporales) corrélée à une augmentation de l'activité cérébrale dans les régions antérieures (incluant le CPF). Ces études ont été réalisées soit en IRMf ou en TEP, pour des tâches de perception visuelle (Levine et al., 2000), d'attention (Madden et al., 2002), de traitement visuospatial (Grady et al., 1994), de MdeT (Grossman et al., 2002), d'encodage (Anderson et al., 2000) et de récupération en mémoire épisodique (Cabeza et al., 2004). Cependant, c'est l'étude de Davis et ses collaborateurs (2007) qui a spécifié le modèle PASA au niveau de sa validité, sa fonction, ainsi que sa généralisation. Cette étude, incluant 12 jeunes adultes et 12 adultes âgés, a utilisé une tâche de retraçage épisodique et une tâche de perception visuelle en IRMf. Après avoir jumelé les participants en fonction de leur performance sur les tâches et adapté la tâche aux participants âgés afin qu'ils aient le même niveau de difficulté que les participants jeunes, ils ont observé une réorganisation inter-hémisphérique de type PASA. Les

résultats ont montré que les adultes âgés ont une diminution de l'activité cérébrale dans les régions postérieures et une augmentation dans les régions antérieures. Ainsi, ils ont prouvé la validité de ce modèle, i.e. que ce pattern n'est pas seulement dû à un niveau de difficulté différent entre les adultes jeunes et âgés, mais bel et bien à l'effet de l'âge. De plus, ces changements d'activité cérébrale lors du vieillissement ont été spécifiés au niveau de leur fonction et cette fonction est la compensation. Effectivement, l'augmentation de l'activité dans les régions antérieures a comme rôle de compenser pour les déficits et les pertes dans les régions occipitales. Enfin, ce modèle se généralise aussi aux désactivations cérébrales puisqu'il a été retrouvé au niveau des désactivations, en plus des activations cérébrales. Ainsi, il y a aussi une diminution des désactivations dans les régions postérieures et une augmentation des désactivations dans les régions antérieures. En résumé, le modèle PASA est un modèle valide, général et qui a comme fonction de compenser les déficits associés au vieillissement. Ainsi, le phénomène de compensation est retrouvé autant dans le modèle PASA que le modèle HAROLD.

2.2. Compréhension du discours

Étant donné le propos de la présente étude, i.e. le vieillissement, il est pertinent de vérifier si ces deux modèles s'appliquent à une tâche de compréhension de discours. Comme mentionné précédemment, mise à part l'étude de Scherer et ses collaborateurs (2007), aucune étude n'a pour objet spécifique la compréhension du discours dans le vieillissement en utilisant une technique de neuroimagerie. Cette étude avait pour but de vérifier l'influence du vieillissement sur les régions contribuant à la compréhension du discours. Les participants, 10 jeunes adultes et 10 adultes âgés, ont effectué une tâche de compréhension du discours constituée de courtes histoires. Les acquisitions ont été réalisées au moyen de l'imagerie optique. Le casque était placé sur les régions de Wernicke (lobe temporal), de Broca (lobe frontal) ainsi que leurs homologues dans l'HD. Des activations plus bilatérales ont été retrouvées chez les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes dans les régions frontales. Bien que le modèle HAROLD s'applique précisément au CPF, Cabeza et ses collaborateurs (2002) suggèrent que ce modèle s'étend aussi aux régions

temporales et pariétales. Ainsi, ces résultats sont en accord avec le modèle HAROLD. Cette étude montre aussi que les régions frontales étaient significativement plus impliquées que les régions temporales chez les adultes âgés comparés aux adultes jeunes, ce qui est en accord avec le modèle PASA. Toutefois, il est important de savoir si d'autres régions sont impliquées dans la compréhension du discours, mises à part les aires de Broca et de Wernicke, et si celles-ci sont accord avec les modèles du vieillissement. L'anatomie fonctionnelle de la compréhension du discours sera donc élaborée dans ce qui suit.

2.2.1. Bases neuronales

Le langage est desservi par deux régions très connues : la région frontale inférieure gauche, mieux connue sous le nom d'aire de Broca (aires de Brodmann (AB) 44-45), pour la production du langage et la région postérieure supérieure temporale gauche, habituellement appelé aire de Wernicke (AB 22), pour la compréhension du langage. Ces régions se situent dans les aires périsylviennes, c'est-à-dire autour du sillon latéral, nommé habituellement scissure de Sylvius. À ces régions s'ajoute le faisceau arqué qui relie l'aire de Wernicke à l'aire de Broca. De plus, le lobule pariétal inférieur gauche, qui inclut le gyrus angulaire gauche (AB 39), est connu sous le nom de la troisième aire de langage. Cette région est généralement reconnue comme étant responsable en partie du système sémantique (Price, 2000). Toutefois, l'anatomie fonctionnelle du langage n'est pas toujours simple. Plus particulièrement pour la compréhension du discours, les aires responsables de cet aspect langagier sont difficiles à cerner. Ainsi, les études traitant de la compréhension du discours dans l'hémisphère droit (HD), les aires de Broca et de Wernicke et les aires spécifiques à la compréhension du discours, particulièrement le CPF, seront maintenant abordées.

2.2.2. Hémisphère droit

Il a été observé que les patients cérébro-lésés droits manifestent des troubles au niveau de la communication (Joanette, Goulet, & Hannequin, 1990). Les troubles de communication se traduisent par des problèmes au niveau de la prosodie, le traitement sémantique des mots, les habiletés pragmatiques et les habiletés

discursives (Joanette, 2004). Plus précisément, au niveau du discours, il y a non respect de la cohérence, une diminution du contenu informatif ainsi que des difficultés à effectuer certaines inférences (Joanette, 2004). De ce fait, il est possible de déduire qu'il y aurait des régions anatomiques au niveau de l'hémisphère droit en partie responsables du niveau discursif. Plusieurs études se sont penchées sur la question à savoir si l'HD sous-tend la compréhension du discours.

Concernant l'implication de l'HD dans la compréhension du discours, les résultats sont assez controversés. Pour débiter, plusieurs études attribuent à l'HD un rôle spécifique dans la compréhension du discours. En effet, une étude en IRMf qui avait pour tâche la lecture de mots, de phrases non reliées et d'histoires narratives a trouvé que l'HD assure les inférences, la synthèse globale et la représentation comme un tout cohérent (Xu, Kemeny, Park, Frattali, & Braun, 2005). Gernsbacher et Kaschak (2003) suggèrent également que l'HD permet de construire la représentation d'une histoire. Pour leur part, une étude en IRMf comparant des groupements de phrases contenant soit des articles indéfinis (par exemple : un, une) ou soit des articles définis (par exemple : le, la) ont aussi trouvé des activations dans l'HD (Robertson et al., 2000). Ce résultat leur a permis de déduire que l'HD, pour le lobe frontal plus particulièrement, est utile pour le processus de *mapping*. C'est-à-dire que l'HD permet d'identifier les concepts récurrents et de les relier afin de construire une représentation mentale cohérente. Une autre étude en IRMf, celle-ci comparant des paragraphes avec titres et sans titres, indique que les activations au niveau de la région temporale inférieure et du sillon temporal médian de l'HD contribuent à établir une cohérence globale pour un traitement du discours efficace (St George, Kutas, Martinez, & Sereno, 1999). Ainsi, l'HD semble jouer un rôle important dans la compréhension du discours, particulièrement dans la construction du modèle de situation. Cependant, certaines études contredisent ces résultats. Martín-Loeches, Casado, Hernandez-Tamames, & Alvarez-Linera (2008) ont trouvé qu'en général, il y avait plus d'activation dans l'HG que dans l'HD pour leur tâche de lecture de paragraphes avec et sans titres en IRMf. Ainsi, ils déduisent que l'HD ne semble pas jouer un rôle plus important que l'HG dans la compréhension du discours. Une méta-

analyse de 23 études portant sur la compréhension de textes observe que la théorie selon laquelle l'HD est utile pour l'inférence n'est pas supportée et ne lui attribue aucun rôle spécifique (Ferstl, Neumann, Bogler, & von Cramon, 2008). Ainsi, les études divergent à savoir si l'HD a un rôle ou non lors de la compréhension du discours.

2.2.3. Aires de Broca et de Wernicke

Puisque l'aire de Wernicke est impliquée dans la compréhension du langage, elle l'est naturellement dans la compréhension du discours. Cependant, plusieurs études ont rapporté que l'aire de Broca contribue aussi à la compréhension du discours. Effectivement, ces régions périssylviennes (Broca et Wernicke) sont activées dans toutes les conditions de l'étude de Xu et ses collaborateurs (2005), i.e. mots, phrases non reliées et histoires narratives. Plus particulièrement, ces auteurs suggèrent que l'aire de Broca serait impliquée dans le traitement de la syntaxe. De plus, l'aire de Broca serait engagée lors du traitement des mots et des phrases (Ferstl, Neumann, Bogler, & von Cramon, 2008). L'aire de Wernicke, quant à elle, ainsi que son homologue dans l'HD, sont impliqués dans la compréhension d'histoires en générale, mais ne sont pas reliés directement au discours (Gernsbacher & Kaschak, 2003). Plusieurs études ont aussi rapporté que ces régions interviennent dans les processus de base tels que la lecture et l'analyse des mots et des phrases (Ferstl, Neumann, Bogler, & von Cramon, 2008; Martin-Loeches, Casado, Hernandez-Tamames, & Alvarez-Linera, 2008). En conclusion, les aires de Broca et de Wernicke ne sont pas des régions qui sont particulières à la compréhension du discours. Les régions qui ont été retrouvées comme telles seront alors maintenant détaillées.

2.2.4. Aires spécifiques au discours

Plusieurs régions ont été rapportées comme étant directement reliées à la compréhension du discours. Gernsbacher & Kaschak (2003) rapportent que les régions spécifiques au discours sont les régions frontales et temporales droites et qu'elles sont importantes dans les aspects intégrateurs du processus de discours. Également, les régions temporales et frontales dans l'HD, plus précisément le gyrus

temporal médian et le gyrus frontal inférieur, seraient impliquées dans le processus d'intégration sémantique au niveau du discours (St George, Kutas, Martinez, & Sereno, 1999). Martin-Loeches et ses collaborateurs (2008) ont aussi montré qu'il y a des activations dans les régions frontales de l'HD, mais également dans les régions pariétales dans l'HG, plus précisément au niveau du gyrus angulaire, et que ces régions jouent un rôle dans la cohérence globale de leurs paragraphes. Une autre étude, quant à elle, suggère que le gyrus angulaire serait impliqué dans la construction du modèle mental (Xu, Kemeny, Park, Frattali, & Braun, 2005). Cette étude indique aussi qu'une autre région dans le lobe pariétal, le précunéus, permettrait la connexion du texte narratif avec les connaissances du vrai monde. La méta-analyse de Ferstl et ses collaborateurs (2008) propose que d'autres régions seraient impliquées spécifiquement dans la compréhension du discours : les lobes temporaux antérieurs dans les deux hémisphères. Toutefois, les lobes temporaux n'ont pas de fonction connue dans la compréhension du discours jusqu'à présent (Gernsbacher & Kaschak, 2003). Le cortex préfrontal (CPF) serait aussi impliqué dans le discours. En effet, Xu et ses collaborateurs (2005) indiquent que le CPF médian (AB 8, 9, 10) dans les deux hémisphères aurait comme rôle de relier les informations aux connaissances et serait central à la construction du modèle de situation. Frieze, Rutschmann, Raabe et Schmalhofer (2008) proposent également que le CPF dorso-médian (AB 9 et 10) joue un rôle central dans le processus d'inférences pour le modèle de situation. Une étude utilisant l'imagerie optique, se penchant spécifiquement sur les régions Fp1 et Fp2, a trouvé que le CPF dans l'HD permet l'intégration des informations pour faire du sens (Liu, Borrett, Cheng, Gasparro, & Kwan, 2008). En résumé, les pôles temporaux, des régions frontales et temporales dans l'HD, des régions pariétales dans l'HG, particulièrement le gyrus angulaire, ainsi que le CPF seraient spécifiques à la compréhension du discours.

L'étude de Scherer et ses collaborateurs (2007) mentionnée précédemment a été effectuée avec le même matériel que la présente étude, mise à part la tâche contrôle qui a été ajoutée dans la présente étude. Cependant, la présente étude s'intéresse plus particulièrement au rôle du CPF, qui semble être une région assez spécifique à la

compréhension du discours. De plus, c'est une région qui est pertinente à étudier lors du vieillissement puisque les modèles du vieillissement peuvent s'y appliquer spécifiquement. Enfin, le CPF est une région facilement accessible à la technique d'imagerie optique, tel qu'il sera expliqué ultérieurement. C'est une technique de neuroimagerie en pleine effervescence qui est encore peu connue, elle sera donc détaillée dans la section suivante.

3. Neuroimagerie

L'imagerie optique est une technique de neuroimagerie qui permet d'évaluer les activations cérébrales. Elle fait partie d'un ensemble de techniques qui sont maintenant accessibles lors des études afin de déterminer les activités cérébrales lors de différentes tâches. Toutefois, ces techniques de neuroimagerie se différencient par leur degré de précision au niveau de différents aspects, tels que la localisation et le déroulement temporel, et le moyen employé afin de mesurer ou d'estimer les activités cérébrales.

Certaines techniques sont dites spatiales, c'est-à-dire qu'elles ont une plus grande précision au niveau de la localisation des activations, telles que l'IRMf, la TEP et la tomographie d'émission monophotonique (TEMP) (Irani, Platek, Bunce, Ruocco, & Chute, 2007; Strangman, Boas, & Sutton, 2002). Néanmoins, elles n'ont pas une bonne précision au niveau temporel, contrairement à d'autres techniques caractérisées comme étant temporelles. En d'autres mots, ces techniques ont une meilleure précision au niveau du déroulement temporel, i.e. du temps, comme la magnétoencéphalographie (MEG), l'électro-encéphalographie (EEG) et les potentiels évoqués (PÉ) (Irani, Platek, Bunce, Ruocco, & Chute, 2007; Strangman, Boas, & Sutton, 2002). Cependant, ces techniques ont une résolution spatiale faible. L'imagerie optique, quant à elle, est une technique qui se situe entre les deux. Elle permet une résolution spatiale raisonnable en ayant une bonne résolution temporelle (Strangman, Boas, & Sutton, 2002).

Toutes les techniques énumérées précédemment évaluent l'activité cérébrale selon une conséquence particulière à l'activité électromagnétique du cerveau (Strangman, Boas, & Sutton, 2002). D'un côté, l'EEG, les PÉ et la MEG sont des techniques dites directes puisqu'elles mesurent les conséquences directes de l'activité électromagnétique du cerveau (Irani, Platek, Bunce, Ruocco, & Chute, 2007). L'EEG et les PÉ enregistrent les champs électriques émis par l'activité neuronale, tandis que la MEG enregistre les champs magnétiques découlant de cette activité (Strangman, Boas, & Sutton, 2002). D'un autre côté, il y a les techniques indirectes, telles que la TEP et l'IRMf (Irani, Platek, Bunce, Ruocco, & Chute, 2007). Plus précisément, la TEP et la TEMP mesurent, après l'injection d'une substance radioactive, l'activité métabolique consécutive à l'émission de positons et/ou de photons dus à la désintégration des isotopes radioactifs (Strangman, Boas, & Sutton, 2002). Tandis que l'IRMf mesure les changements hémodynamiques consécutifs à l'activité électrique du cerveau (Strangman, Boas, & Sutton, 2002). L'imagerie optique, quant à elle, est une technique qui peut soit être directe ou indirecte selon les signaux utilisés. Il y a deux catégories de signaux : les signaux rapides et les signaux lents. Les signaux rapides sont reliés aux changements dans la diffusion du tissu neuronal qui accompagne simultanément les activités électriques reliées à l'activité neuronale (Gratton & Fabiani, 2007). Cette technique est habituellement appelée signal optique évoqué, ou encore signal optique lié à l'évènement (*event-related optical signal*, EROS). En contrepartie, les signaux lents sont reliés aux changements hémodynamiques et les propriétés métaboliques dans le tissu neuronal et ceux-ci sont décalés de l'activité neuronale de quelques secondes (Gratton & Fabiani, 2007). C'est une technique qui est nommée spectroscopie proche infrarouge, imagerie optique par infrarouge ou imagerie optique proche infrarouge (*near-infrared spectroscopy*, NIRS). De nombreuses études optent pour cette technique et elle sera élaborée plus en détails dans la section suivante. Par défaut, c'est cette technique qui sera référée comme étant l'imagerie optique (IO).

3.1. Imagerie optique

L'IO utilise de la lumière proche de celle de l'infrarouge, de longueurs d'onde se situant entre 700 et 1000 nanomètres (nm), afin de mesurer les changements hémodynamiques. Cette lumière pénètre les tissus biologiques et est captée par quelques chromophores biologiques tels que le cytochrome oxydase dans les mitochondries, la myoglobine et l'hémoglobine (Hoshi, 2003). Plus précisément, la lumière proche de l'infrarouge peut être captée par l'hémoglobine sous ses deux formes : l'oxyhémoglobine (HbO), i.e. l'hémoglobine sous sa forme oxygénée ainsi que la désoxyhémoglobine (HbR), i.e. l'hémoglobine sous sa forme désoxygénée. Subséquemment, la variation de la concentration de l'HbO et de l'HbR, ce qu'on appelle la variation du signal hémodynamique, permet une mesure distinctive de ces deux formes et d'en déduire les activités cérébrales.

En effet, une activation cérébrale régionale est généralement accompagnée d'une augmentation régionale du flux sanguin cérébral (FSC) et taux métabolique cérébral en oxygène (TMCO₂) (Hoshi, 2003). De manière générale, ces changements sont accompagnés par une augmentation de la concentration d'HbO et d'une diminution de la concentration d'HbR (Hoshi, 2007). Toutefois, une activation n'est pas toujours accompagnée d'une diminution de la concentration d'HbR. Ainsi, c'est la mesure de la variation de la concentration d'HbO qui est l'indicateur le plus sensible à une activation. En effet, les changements dans l'HbO sont toujours dans la même direction que ceux dans le FSC, tandis que les changements dans l'HbR sont déterminés par des changements survenant au niveau de l'oxygénation et du volume de sang dans les veines (Hoshi, 2007). Ainsi, l'IO est une technique qui représente mieux les activations que le signal BOLD (*blood-oxygen-level-dependent*) employé au niveau de l'IRMf, un signal qui mesure seulement les variations dans la concentration d'HbR.

L'IO peut être utilisée selon deux méthodes, soit en émettant une onde lumineuse continue (*continuous wave*, CW), soit en faisant varier l'intensité durant le temps (*time-resolved*) (Gratton & Fabiani, 2007). La technique par onde continue est plus

simple à utiliser, tandis que la technique par résolution de temps est plus complexe et plus coûteuse. Toutefois, cette dernière technique permet de mesurer le mouvement des photons au travers du tissu, un paramètre important dans la précision des mesures des propriétés optiques du tissu (Gratton & Fabiani, 2007).

L'IO est une technique qui détient plusieurs avantages, mais aussi certains inconvénients. D'un côté, l'IO est une technique de neuroimagerie qui a comme avantages d'être écologique, sécuritaire, peu coûteuse, non invasive et qui supporte bien les artéfacts dus aux mouvements (Hoshi, 2003; Kameyama, Fukuda, Uehara, & Mikuni, 2004; Strangman, Boas, & Sutton, 2002). De plus, cette technique a été démontrée efficace dans toutes les populations, autant pour les enfants, pour les populations cliniques que pour les personnes âgées (Claassen, Colier, & Jansen, 2006; Gallagher et al., 2007; Hoshi, 2007). D'un autre côté, c'est une technique qui a une pénétration limitée dans le cortex cérébral, soit de 0,9 à 1,3 centimètres (Koizumi et al., 1999). Elle ne peut donc pas évaluer les structures sous-corticales. De plus, la lumière infrarouge est davantage absorbée lorsque les participants ont la peau et/ou les cheveux foncés, ce qui diminue la pénétration corticale (Strangman, Boas, & Sutton, 2002). Ainsi, le CPF, étant dénué en grande partie de cheveux, est une région facile à enregistrer en IO.

Malgré que l'IO soit une technique qui est encore exploratoire, elle est de plus en plus répandue et est utilisée dans divers domaines. Auparavant, cette technique était utilisée dans les cliniques pour évaluer l'oxygénation cérébrale (Brazy, 1991; Wyatt, Cope, Delpy, Wray, & Reynolds, 1986). Ensuite, elle a aussi été utilisée fréquemment pour des tâches motrices de tapements de doigt (Ito, Fukuda, Suto, Uehara, & Mikuni, 2005; Sato et al., 2005). Maintenant, elle est de plus en plus utilisée dans la recherche pour des tâches cognitives. Par exemple, l'IO a été utilisée fréquemment des tâches de fluence verbale, c'est-à-dire évoquer le plus de mots possibles correspondant à une catégorie et/ou à une lettre dans un temps donné (Herrmann, Ehrlis, & Fallgatter, 2003; Herrmann, Ehrlis, Scheuerpflug, & Fallgatter, 2005). Elle a été utilisée en fluence verbale dans diverses populations telles que chez des individus

ayant un trouble bipolaire (Matsuo et al., 2004), un trouble de stress post-traumatique (Matsuo et al., 2003), chez des patients ayant un diagnostic probable de la maladie d'Alzheimer (Herrmann et al., 2008) et chez des patients schizophrènes (Ehlis et al., 2007; Kubota et al., 2005). L'IO a aussi été utilisée dans des tâches de traitement sémantique (Kovelman, Shalinsky, Berens, & Petitto, 2008), de reconnaissance de voix (Sato, Takeuchi, & Sakai, 1999), de reconnaissance visuelle de mots (Hofmann et al., 2008), de traduction et de changement de langues (Quaresima, Ferrari, van der Sluijs, Menssen, & Colier, 2002), d'identification d'images chez des monolingues et des bilingues (Kovelman et al., 2009) et dans la tâche de *Stroop* d'association des mots et des couleurs (Schroeter, Zysset, Kupka, Kruggel, & Yves von Cramon, 2002).

Par ailleurs, l'IO a été corrélée à d'autres techniques afin de vérifier sa fiabilité et son utilité. Par exemple, l'IO a été corrélée à la TEP pour une tâche de fluence verbale chez des patients Alzheimer (Hock et al., 1997), aux PÉ pour une tâche de traitement sémantique (Horovitz & Gore, 2004), à l'IRMf pour une tâche de tapement de doigts chez des adultes jeunes et chez des adultes âgés (Mehagnoul-Schipper et al., 2002) et à la procédure qui consiste à injecter un anesthésique de courte durée, l'amobarbital, afin d'identifier l'hémisphère dominant (Watson, Dodrill, Farrell, Holmes, & Miller, 2004). Ainsi, l'IO a le potentiel d'être utilisé comme outil d'identification de l'hémisphère dominant préalable à des opérations épileptiques chez des populations, telles que les enfants et certains patients, qui ne peuvent pas être soumis à des techniques plus invasives (Gallagher et al., 2007). Cette technique a aussi été révélée raisonnablement fiable pour détecter la maladie périphérique vasculaire (McCully, Landsberg, Suarez, Hofmann, & Posner, 1997). De plus, l'IO a été testée afin de prouver que c'est une technique constante et qui a une reproductibilité fiable (Kono et al., 2007). Elle a aussi été vérifiée pour sa constance chez une population de personnes âgées prouvant alors que l'IO est reproductible chez cette catégorie d'individus (Claassen, Colier, & Jansen, 2006). Néanmoins, cette technique a permis de montrer qu'il existe des différences entre les jeunes adultes et adultes âgés au niveau des mesures hémodynamiques.

3.1.1. Imagerie optique et vieillissement

Effectivement, il existe des différences lorsque des participants jeunes sont comparés à des participants âgés lors d'une tâche en IO. Plusieurs études ont montré que les adultes âgés ont une diminution des activations comparativement aux jeunes adultes, par exemple dans une tâche de MdeT au niveau du CPF dorsolatéral (Kwee & Nakada, 2003). Plus précisément, une diminution de l'augmentation d'HbO ainsi qu'une diminution de la diminution d'HbR chez les adultes âgés par rapport aux jeunes adultes ont été observées dans une tâche de fluence verbale dans le CPF dorsolatéral (Herrmann, Walter, Ehli, & Fallgatter, 2006), dans une tâche de tapement de doigts dans le cortex moteur gauche (Mehagnoul-Schipper et al., 2002) ainsi que dans la tâche de *Stroop* d'association des mots et des couleurs dans le CPF latéral associatif (Schroeter, Zysset, Kupka, Kruggel, & Yves von Cramon, 2002). De plus, une diminution de l'augmentation d'HbO a été montrée dans une tâche de calcul dans le CPF gauche (Hock et al., 1995) et dans des tâches de fluence verbale sémantique et de lecture au niveau du CPF gauche (Sakatani, Lichty, Xie, Li, & Zuo, 1999). Ces changements au cours du vieillissement au niveau de l'oxygénation peuvent être expliqués par divers facteurs, notamment par l'altération de la microvascularisation.

3.1.2. Microvascularisation

En plus des altérations biologiques énoncées précédemment, des changements au niveau de la microvascularisation accompagnent le vieillissement. De manière générale, il y a une diminution du FSC, de la réactivité cérébrovasculaire en dioxyde de carbone (CO₂), du volume sanguin cérébral ainsi que du taux sanguin cérébral en oxygène (TMCO₂) (D'Esposito, Deouell, & Gazzaley, 2003; Safonova et al., 2004). De plus, il y a une diminution de l'apport métabolique en glucose ainsi qu'une modification de l'intégrité structurale de la vascularisation cérébrale, en particulier au niveau des microvaisseaux (Farkas & Luiten, 2001). Plus précisément, il y a une diminution de la densité capillaire, des dépôts de collagène autour des vaisseaux, un épaissement de la membrane basale, des fuites dans la barrière hémato-encéphalique ainsi qu'un déclin dans les systèmes dans la barrière hémato-

encéphalique (Farkas & Luiten, 2001). Il y a aussi un changement dans la forme des capillaires, incluant des boucles et tortuosités (Riddle, Sonntag, & Lichtenwalner, 2003). En résumé, plusieurs composantes dans la microvascularisation sont altérées lors du vieillissement.

Quelques explications ont été proposées afin d'expliquer la diminution du FSC. La diminution dans le $TMCO_2$ et en glucose pourrait contribuer à un abaissement général de l'activité métabolique, qui se traduirait en une diminution du FSC. De plus, la diminution de la densité capillaire (Farkas & Luiten, 2001) et/ou des changements dans leurs formes (Riddle, Sonntag, & Lichtenwalner, 2003) pourraient aussi contribuer à ce déclin. Également, une altération dans la capacité d'autorégulation des vaisseaux avec l'âge, amenant une domination des réponses constrictrices, pourrait se traduire par une diminution du FSC (Farkas & Luiten, 2001). Ainsi, la diminution de FSC lors du vieillissement, consécutive aux altérations de la microvascularisation, peut influencer les réponses hémodynamiques en IO. Ce facteur, ainsi que ceux mentionnés antérieurement, tels que les pertes neuronales, les fonctions cognitives ainsi que la réorganisation cérébrale sont à considérer lors d'une étude portant sur le vieillissement.

4. Buts et hypothèses

Le but de cette étude est d'évaluer l'influence du vieillissement sur la réorganisation cérébrale, par l'intermédiaire des mesures hémodynamiques, dans la compréhension du discours. Deux hypothèses principales sont proposées. 1) En accord avec la littérature, il est attendu que les jeunes adultes aient de meilleures performances que les adultes âgés au niveau de la base de texte, c'est-à-dire au niveau des micropropositions et des macropropositions. Il est aussi attendu à ce que les performances soient équivalentes entre les jeunes adultes et les adultes âgés concernant la construction du modèle de situation. 2) En accord avec les études précédentes concernant la réorganisation cérébrale lors du vieillissement, il est attendu que les adultes âgés aient une augmentation de l'activité cérébrale en plus

d'une bilatéralisation de l'activité cérébrale au niveau du CPF comparativement aux jeunes adultes.

Chapitre 2

MÉTHODOLOGIE

1. Participants

Trente-deux participants ont pris part à cette étude après avoir lu et signé un formulaire de consentement. Cette étude a été approuvée par le comité mixte d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie/Québec. Le recrutement des participants a été fait, entre autres, par l'entremise d'affiches apposées à l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal. Une compensation de 25 dollars a été accordée à chaque participant pour leur temps et leur déplacement. Les participants sont tous droitiers à 80% ou plus selon une traduction de l'*Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), ont un score égal au supérieur à 27 au *Mini-Mental State Evaluation* (MMSE), sont de langue maternelle française et ont une vision normale ou corrigée. Ils ne sont pas dyslexiques, ni diabétiques et n'ont aucune histoire d'alcoolisme, de toxicomanie, de troubles psychiatriques ou de troubles neurologiques. Ils n'ont aucune perte cognitive en ce qui a trait à la MdeT, MCT, mémoire épisodique au niveau de l'encodage et de la MLT, les fonctions exécutives telles que l'attention, l'inhibition ainsi que la flexibilité mentale. En effet, tous les participants ont des scores à l'intérieur des normes pour les épreuves suivantes: RL/RI (*Buschke*), Empan de chiffres à l'endroit et à l'envers, *Stroop* version *Victoria*, *Trail Making Test* (A et B) et *Wisconsin* version 64. Des questionnaires sur les habitudes de lecture, écriture et jeux de 6 ans jusqu'au temps présent et sur les habitudes de vie des 6 derniers mois ont aussi été administrés (voir Annexe 1).

Au départ, 38 participants étaient inclus dans l'étude. Toutefois, trois participants ont dû être écartés de l'étude en raison de problèmes techniques au niveau de l'acquisition des données hémodynamiques. Deux autres participants n'ont pas été inclus puisqu'ils n'étaient pas dans les normes des tests neuropsychologiques. Finalement, un participant a été éliminé en raison de l'incompréhension d'une des consignes.

Les participants sont recrutés et classés selon leur âge en deux groupes : un groupe de jeunes adultes et un groupe d'adultes âgés. Ils ont tous un niveau de scolarité équivalent au niveau universitaire (15 années ou plus). Le groupe de jeunes adultes

(10 femmes; 6 hommes) était âgé entre 20 et 30 ans et détenait un niveau de scolarité entre 15 et 21 ans. Le groupe d'adultes âgés (14 femmes; 2 hommes) était âgé entre 62 et 75 ans et avait un niveau de scolarité situé entre 15 et 21 ans (voir Tableau I pour les moyennes). Le test t de Student n'a révélé aucune différence significative quant au niveau de scolarité entre les jeunes et les adultes âgés ($t_{30}=-1,505$; $p=0,143$).

Tableau I. Principales caractéristiques des participants.

Caractéristiques des participants	Jeunes (n = 16) \bar{X} (s^2)	Âgés (n = 16) \bar{X} (s^2)
Âge	22,4 (2,7)	68 (4,1)
Scolarité	16,3 (1,7)	17,3 (2,1)
MMSE	n/a	29,3 (0,7)

Note : \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type.

2. Stimuli

Une liste de 36 courtes histoires et une liste de 36 phrases ont été utilisées pour la tâche de compréhension du discours. Chaque courte histoire a une phrase correspondante afin de créer 36 combinaisons de courtes histoires et de phrases. Ces combinaisons sont réparties en trois conditions : 12 micropropositions, 12 macropropositions et 12 constructions du modèle de situation. Ces listes ont été composées lors de l'étude de Scherer et ses collaborateurs (2007) et elles ont été contrôlées pour le nombre de phrases, de mots, de syllabes et de lettres. Les listes ne contiennent aucune utilisation de l'ironie, d'actes de langage indirect, des métaphores ou de la théorie de l'esprit. Pour illustrer ces conditions, des exemples sont donnés pour chaque condition (pour la liste complète, se référer à l'Annexe 2).

Micropropositions

Courte histoire : René regardait à travers de grandes fenêtres les gens qui saluaient leurs proches de la main. La dernière rencontre qu'il a eu avec sa mère datait d'il y a deux ans. Lorsqu'il a vu l'avion atterrir, il a couru vers les escaliers.

Phrase : René avait écrit à sa mère il y a deux ans.

Réponse: FAUX

Macropropositions

Courte histoire : Le hobby de Baptiste est la planche à voile. Il habite loin de la mer, mais il s'y rend tous les mois pour pratiquer sa passion. Aujourd'hui, la mer est déchaînée. Baptiste décide de rester sur la plage pour contempler l'immensité de la mer.

Phrase : Baptiste est très prudent quand la mer est mauvaise.

Réponse : VRAI

Modèle de situation

Courte histoire : Marc aime regarder la télévision chaque soir. Son émission préférée est un divertissement musical. Or ce soir, il y a une grève à la télévision dans sa province. Marc est obligé d'écouter de la musique à la radio pour les prochains jours.

Phrase : Marc devra attendre le réparateur pour la télévision.

Réponse : FAUX

Une liste de 12 histoires composées de pseudo-mots et de mots ainsi que 12 questions ont été utilisées pour la tâche contrôle. Les mots utilisés sont des mots fréquents de la langue française. Les pseudo-mots sont des mots de la langue française qui ont été générés à partir du logiciel www.lexique.org (New & Pallier, 2001). Ils ont été créés à partir de 12 courtes histoires prises au hasard, pour lesquelles le nombre de phrases, de mots, de syllabes et de lettres. De plus, elles ont été contrôlées pour les fréquences moyennes des bigrammes, des trigrammes, des syllabes et des lettres ont été contrôlés avec une erreur de 0,05%. Voici un exemple d'un essai de la tâche contrôle (pour la liste complète, se référer à l'Annexe 3).

Tâche contrôle

Texte : Ga bourmote alès cu'olle goit ku gnai, ulle gait ub fenêtre duns syn détis g'agretats. Delenion congarse pidaient debroce souveilque. Ulle tises i f'excriverté poug jatemuces ke milcobins. Ulle fe ille comsés cu'alle i gait ud couleur grouk.

Question : Y-a-t-il seulement DEUX mots français dans le texte?

Réponse : VRAI

Le nombre de réponses vraies et fausses ont été contrôlées pour toutes les conditions (micropropositions, macropropositions, modèle de situation et tâche contrôle), soit six réponses vraies et six réponses fausses dans chaque condition. Tous les stimuli ont été présentés au centre sur un écran d'ordinateur horizontalement, en police Courier New de 18 points, en noir sur fond blanc.

3. Procédure

Chaque passation a été réalisée de manière individuelle et a duré environ deux heures chacune. Lors de la tâche, les participants sont placés confortablement devant un ordinateur, dans une pièce sombre et silencieuse du Centre de Recherche de l'Institut universitaire de Montréal (CRIUGM). Ils ont l'index droit sur la touche «p» et l'index gauche sur la touche «q» d'un clavier de type QWERTY. Le «p» et le «q» sont associés aux réponses «vrai» et «faux» et les associations sont contrebalancées entre les participants. Pour la tâche, ils ont pour consigne de lire les courtes histoires suivies chacune d'une phrase et de répondre le plus rapidement et justement possible lorsque la phrase apparaît à l'aide de la touche appropriée. Les participants doivent décider si la phrase qui suit la courte histoire est en accord ou non avec la courte histoire précédente. Pour la tâche contrôle, ils ont pour consigne de lire les textes composés de pseudo-mots et de mots suivies de la question et de répondre le plus rapidement et justement possible lorsque la question apparaît. Les participants doivent identifier les mots parmi les pseudo-mots et répondre à la question demandant s'il y avait un, deux ou trois mots à l'aide de la touche appropriée. Entre les essais expérimentaux, ils ont pour consigne de fixer la croix de fixation. Avant de

commencer l'expérience, les participants s'habituent avec la tâche à l'aide de blocs de familiarisation jusqu'à ce que la consigne soit bien assimilée. Les blocs de familiarisation sont constitués de trois stimuli pour chaque type de tâche, un bloc pour les courtes histoires et un bloc pour la tâche contrôle. L'ordre des blocs a été contrebalancé entre les participants, résultant en quatre ordres possibles. Le quart des participants ont fait les blocs dans l'ordre micropropositions – macropropositions – modèle de situation – contrôle ; un quart dans l'ordre macropropositions – modèle de situation – contrôle – micropropositions ; un quart dans l'ordre modèle de situation – contrôle – micropropositions - macropropositions et un dernier quart l'a fait dans l'ordre contrôle – micropropositions – macropropositions – modèle de situation – contrôle. L'expérience en elle-même est constituée de quatre blocs différents, correspondant à chaque condition, comprenant chacun 12 essais expérimentaux. Le temps total des blocs est de 600 secondes (s) chacun, soit 40 minutes au total. Avant et après chaque bloc, une mesure de niveau de base est captée durant 45 s au début et 35 s à la fin où les participants doivent fixer la croix sans bouger. Le temps a été ajusté en laissant les participants relaxer durant les derniers 55 s, devant un écran qui leur indique de prendre une pause, afin que la durée de 600 s, soit un multiple de 30. Cette contrainte est essentielle au bon fonctionnement du système utilisé pour l'enregistrement des données en IO. Chaque essai expérimental est constitué d'une courte histoire ou un d'un texte durant 15 s ; une phrase ou une question durant 5 s ; une croix de fixation durant 20 s (voir figure 1).

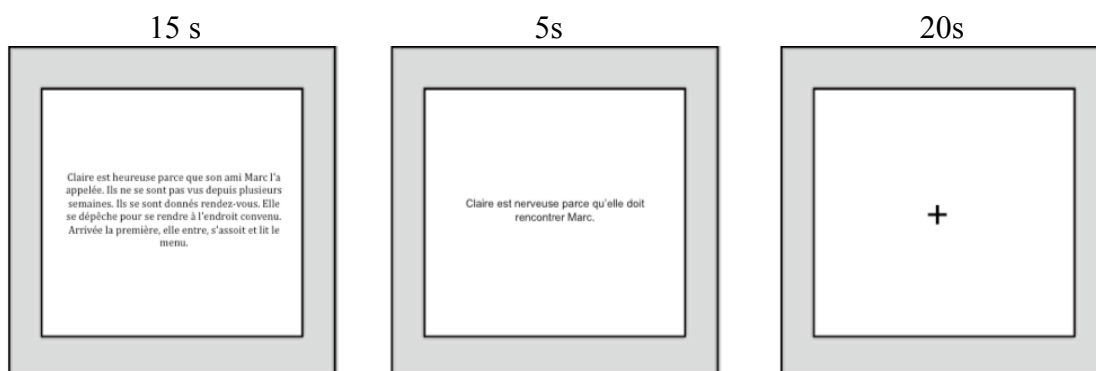


Figure 1. Exemple d'un essai expérimental.

4. Acquisition des données

Les données ont été acquises à l'aide de fibres optiques du système TechEn CW32 NIRS apposées sur un casque ajusté aux participants afin que celles-ci adhèrent à leur front et au cuir chevelu. Deux sources et huit détecteurs ont été utilisés, pour un total de 8 paires source-détecteur réparties sur chaque hémisphère, formant ainsi 8 canaux. Ces canaux sont distribués sur le cortex préfrontal, plus précisément sur les AB 10 (canaux 1, 4, 5 et 6) et AB 46 (canaux 2, 3, 7, 8). Les canaux 6, 4, 7, 2 correspondent respectivement aux régions Fp1, Fp2, AF3 et AF4 du système international 10/20 (Jasper, 1958) (voir figures 2 et 3). Les sources émettent de la lumière infrarouge de longueurs d'onde 690 nm et 830 nm afin de permettre la mesure relative des variations de concentrations d'HbO et d'HbR (en unités arbitraires). Les réponses mesurées ont été estimées par le modèle général linéaire (*General Linear Model*) et les changements de concentration ont été calculés selon la loi modifiée de Beer-Lambert. La tâche utilisée est une tâche de compréhension du discours en bloc.

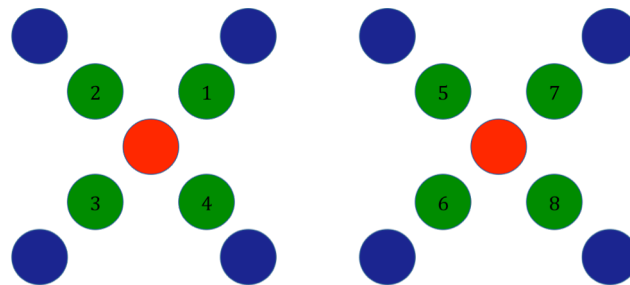


Figure 2. Le positionnement des sources (en rouge), des détecteurs (en bleu) et des canaux (en vert).



Figure 3. Le casque d'imagerie optique positionné sur une participante sur le CPF.

4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur les résultats aux tests neuropsychologiques, sur les données comportementales, i.e. le temps de réponse (TR) et les proportions correctes ou l'exactitude des réponses ainsi que sur les données hémodynamiques, i.e. la variation des taux de concentration d'HbO et d'HbR.

4.1. Tests neuropsychologiques et données comportementales

Les résultats aux tests neuropsychologiques ont été comparés entre les deux groupes d'âge par des tests *t* de Student pour des échantillons indépendants à l'aide du logiciel *SPSS* (*Statistical Package for Social Sciences*). Les données comportementales évaluant le TR ainsi que l'exactitude des réponses ont été analysées à l'aide du logiciel *SPSS* par des tests *t* de Student pour échantillons indépendants. Des corrélations de Pearson ont été réalisées entre les résultats aux tests neuropsychologiques et l'exactitude des réponses à l'aide du logiciel *SPSS*.

Le TR a été calculé au niveau des essais où les participants ont eu des bonnes réponses seulement. De plus, les essais où les participants n'ont pas répondu ou dont la réponse n'a pas été enregistrée ont été éliminés pour l'évaluation de l'exactitude des réponses.

4.2. Données hémodynamiques

Les données hémodynamiques, c'est-à-dire les variations de la concentration d'HbO et d'HbR, ont aussi été analysées à l'aide de tests *t* pour échantillons indépendants avec le logiciel *SPSS* afin de vérifier s'il y a une différence entre les 2 groupes d'âge. Des analyses par paires ont été effectuées sur les 8 canaux (canaux #1, #2, #3, #4, #5, #6, #7, #8) pour la lecture des courtes histoires ainsi que pour la lecture de la phrase combinée à la réponse (contrairement à l'étude de Scherer et al. (2007) qui ont seulement analysé la lecture de la phrase combinée à la réponse). De plus, des analyses à l'aide de tests *t* pour échantillons appariés sont réalisés par hémisphère : hémisphère droit (HD: paires #1, #2, #3, #4) et hémisphère gauche (HG: paires #5, #6, #7, #8).

Les courtes histoires ont été regroupées pour les conditions micropropositions, macropropositions et modèle de situation puisqu'elles sont équivalentes entre elles. Pour les phrases combinées à la réponse, elles ont été analysées séparément puisque dépendamment de la phrase, c'est une condition différente et ce ne sont pas les mêmes processus cérébraux qui seront engagés. De plus, seulement les essais où les participants ont eu des bonnes réponses ont été inclus dans les analyses des phrases combinées aux réponses, puisque ce ne sont pas les mêmes aires cérébrales qui sont activées lors d'une bonne et d'une mauvaise réponse.

Les données hémodynamiques utilisées correspondent aux moyennes des variations de la concentration d'HbO et d'HbR durant la durée de la lecture de la courte histoire et de la lecture de la phrase combinée à la réponse. Cependant, une fenêtre d'analyse a été appliquée afin de décaler le décours temporel réel de la tâche. En fait, les données hémodynamiques ont été calculées avec trois secondes de délai par rapport à

la projection de la tâche. Il est en effet justifié de faire de décalage puisque, comme mentionné précédemment, le signal lent du système utilisé est en délai de quelques secondes par rapport à l'activité neuronale (Bandettini, Wong, Hinks, Tikofsky, & Hyde, 1992; Gratton & Fabiani, 2007). Ainsi, la fenêtre d'analyse des histoires est entre 3 et 18 s, tandis que la fenêtre d'analyse des phrases est entre 3 et 8 s.

Chapitre 3

RÉSULTATS

1. Données comportementales

1.1. Tests neuropsychologiques

Après avoir effectué les analyses statistiques, des différences significatives au niveau des résultats aux tests neuropsychologiques entre les jeunes adultes et les adultes âgés ont été retrouvées (voir Tableau II). En effet, les jeunes adultes ont des résultats supérieurs aux adultes âgés pour le test RL/RI mesurant l'encodage de la mémoire épisodique ($t_{21,424}=3,097$; $p=0,005$) et la mémoire épisodique à long terme ($t_{30}=2,258$; $p<0,05$), pour le *Stroop* version *Victoria* qui mesure l'attention et l'inhibition ($t_{19,473}=-5,337$; $p<0,001$), pour le *Trail Making Test* A ($f_{30}=-4,899$; $p<0,001$) et B ($f_{22,202}=-3,567$; $p<0,01$) qui mesurent les fonctions exécutives et l'attention ainsi que pour le *Wisconsin* version 64 mesurant la flexibilité mentale par le nombre de catégories complétées ($f_{20,275}$; $p<0,01$) et par le nombre d'erreurs produites ($f_{19,469}=-3,234$; $p<0,01$). Cependant, les adultes âgés ont des résultats significativement supérieurs aux jeunes adultes en ce qui a trait au questionnaire des habitudes de vie ($f_{30}=-2,707$; $p<0,05$).

Tableau II. Résultats aux tests neuropsychologiques pour les jeunes adultes comparativement aux adultes âgés.

Tests neuropsychologiques	Jeunes (n = 16) \bar{X} (s ²)	Âgés (n = 16) \bar{X} (s ²)
<hr/>		
RL/RI (mémoire épisodique)		
Encodage **	40,4 (2,8)	35,3 (5,9)
Rappel différé (MLT)*	15,2 (1,0)	13,7 (2,4)
<i>Stroop Victoria</i> (attention et inhibition)		
Temps**	16,2 (2,7)	25,9 (6,8)
Erreurs	0	0,2 (0,4)
<i>Trail Making Test A & B</i> (fonctions exécutives et attention)		
A – Temps**	21,9 (7,0)	38,1 (11,2)
Erreurs	0	0
B – Temps**	44,3 (12,5)	68,0 (24,7)
Erreurs	0,1 (0,3)	0,1 (0,5)
B moins A (flexibilité mentale)	22,4 (11,8)	30,9 (18,7)
Empan de chiffre		
À l'endroit (MCT spatiale)	11,4 (1,7)	10,5 (2,3)
À l'envers (MdeT spatiale)	9,3 (2,3)	7,6 (2,6)
<i>Wisconsin 64</i> (flexibilité mentale)		
Catégories**	4,7 (0,6)	3,4 (1,4)
Erreurs**	9,1 (3,9)	17,8 (9,9)
Habitudes de lecture	0,74 (0,8)	0,68 (0,8)
Habitudes de vie*	37,1 (3,6)	41,0 (4,4)

Note : \bar{X} , moyenne; s², écart-type. Le questionnaire d'habitudes de lecture est sur 100 pour les jeunes et 125 pour les âgés. Une proportion a été établie pour les comparer. Le questionnaire d'habitudes de vie est sur 54. *p<0,05; **p<0,01.

1.2. Temps de réponse

Des différences significatives reliées à l'âge sont observées au niveau des temps de réponse, et ce, dans toutes les conditions (voir Tableau III). En effet, il est possible d'observer un temps de réponse supérieur pour les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes pour les micropropositions ($t_{30}=-3,685$; $p=0,001$), les macropropositions ($t_{30}=-3,751$; $p=0,001$), le modèle de situation ($t_{30}=-3,087$; $p<0,01$) et la tâche contrôle ($t_{30}=-6,681$; $p<0,001$).

Tableau III. Le temps de réponse des participants selon l'âge et la condition.

Temps de réponse (millisecondes)	Jeunes \bar{X} (s^2)	Âgés \bar{X} (s^2)
Micropropositions**	2683,0 (427,8)	3226,5 (404,7)
Macropropositions**	2660,5 (411,5)	3207,4 (413,1)
Modèle de situation**	2885,9 (505,6)	3363,0 (355,6)
Contrôle**	1253,9 (157,6)	1902,86 (355,1)

Note: \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type. Différence reliée à l'âge: * $p<0,05$; ** $p<0,01$.

1.3. Exactitude des réponses

Il n'y a aucune différence significative pour l'exactitude des réponses entre les jeunes adultes et les adultes âgés (voir Tableau III). Ainsi, les deux groupes réussissent de manière équivalente dans toutes les conditions, soit les micropropositions ($t_{30}=-0,696$; $p=0,492$), les macropropositions ($t_{30}=0,210$; $p=0,835$), le modèle de situation ($t_{30}=0,403$; $p=0,690$) et la tâche contrôle ($t_{30}=0,483$; $p=0,633$).

Tableau IV. L'exactitude des réponses en fonction de l'âge et de la condition.

Exactitude des réponses (proportion correcte)	Jeunes \bar{X} (s^2)	Âgés \bar{X} (s^2)
Micropropositions	0,86 (0,1)	0,88 (0,1)
Macropropositions	0,92 (0,1)	0,91 (0,1)
Modèle de situation	0,88 (0,1)	0,87 (0,1)
Contrôle	0,85 (0,1)	0,83 (0,1)

Note: \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type. Différence reliée à l'âge: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

1.4. Corrélations

Il n'y a aucune corrélation positive entre les tests neuropsychologiques l'exactitude des réponses chez les jeunes adultes. Du côté des adultes âgés, seulement l'exactitude des réponses au niveau du modèle de situation est corrélée positivement de manière significative à certains tests neuropsychologiques. Plus précisément, le modèle de situation est corrélé positivement avec la mémoire épisodique, c'est-à-dire avec l'épreuve de RL/RI au niveau de l'encodage ($r=0,743$; $p < 0,001$) et du rappel différé ($r=0,547$; $p < 0,05$) et avec la MCT avec le test d'empan de chiffres dans l'ordre ($r=0,630$; $p < 0,01$) (voir Tableau V). Il y a aussi quelques corrélations négatives pour les jeunes adultes et les adultes âgés. Pour les jeunes adultes, une corrélation négative a été retrouvée entre l'exactitude des réponses au modèle de situation et le *Trail Making Test* partie A qui mesure les fonctions exécutives et l'attention ($r=-0,508$; $p < 0,05$). Des corrélations entre les résultats à la construction du modèle de situation chez les adultes âgés et à l'épreuve de l'empan de chiffres à l'envers qui mesure la MdeT ($r=-0,789$; $p < 0,001$) et entre la réussite à la construction du modèle de situation et le nombre d'erreurs au *Wisconsin* qui mesure la flexibilité mentale ($r=-0,524$; $p < 0,05$) (voir Tableau V).

Tableau V. Corrélations entre les tests neuropsychologiques et les résultats comportementaux selon les conditions.

Tests neuropsychologiques	Micropropositions		Macropropositions		Modèle de situation	
	Jeunes	Âgés	Jeunes	Âgés	Jeunes	Âgés
RL/RI						
Encodage	0,007	0,355	0,147	0,123	-0,068	0,743**
Rappel différé	-0,113	0,302	0,064	0,146	0,298	0,547*
<i>Stroop Victoria</i>						
(Temps)	-0,135	-0,298	0,174	0,055	-0,096	-0,345
<i>Trail Making Test</i>						
A (Temps)	0,116	-0,344	0,263	-0,394	-0,253	-0,478
B (Temps)	-0,163	-0,367	-0,223	-0,120	-0,508*	-0,428
B moins A	-0,242	-0,279	-0,393	0,077	-0,388	-0,28
Empan de chiffre						
À l'endroit	-0,122	0,439	0,325	-0,261	0,118	0,630**
À l'envers	0,041	0,29	0,276	-0,789**	0,665	0,368
<i>Wisconsin 64</i>						
Catégories	-0,028	0,127	0,124	-0,099	-0,015	0,444
Erreurs	-0,05	-0,203	-0,99	0,133	-0,171	-0,524*

Note: Les corrélations sont données en r. Corrélation significative : *p<0,05; **p<0,01.

En plus des corrélations, des régressions auraient été intéressantes, mais la taille de l'échantillon étant limitée, il était difficile d'effectuer de telles analyses. De plus, puisque les corrélations sont différentes entre les jeunes et les âgés, il n'est pas pertinent de les jumeler afin d'augmenter le nombre d'effectifs.

2. Résultats hémodynamiques

2.1. Lecture des courtes histoires

2.1.1. Analyses par paires

Lors de la comparaison entre les jeunes adultes et les adultes âgés, les adultes âgés ont une augmentation de la variation de la concentration d'HbO lors de la lecture d'histoires comparativement aux jeunes adultes (voir Figure 4). En d'autres mots, les adultes âgés utilisent davantage le CPF pour lire les courtes histoires, et ce, pour les canaux 1 ($t_{30}=-4,164$; $p<0,001$), 2 ($t_{30}=-3,592$; $p=0,001$), 3 ($t_{24,815}=-2338$; $p<0,05$), 5 ($t_{30}=-2,292$; $p<0,05$), 6 ($t_{30}=-2,330$; $p<0,05$), 7 ($t_{30}=-2,286$; $p<0,05$) et 8 ($t_{30}=-2,473$; $p<0,05$). Toutefois, aucune différence significative n'est notée relativement à la variation de la concentration d'HbR lors de la lecture des courtes histoires (voir Figure 5). Pour le tableau complet des moyennes, se référer à l'Annexe 4.

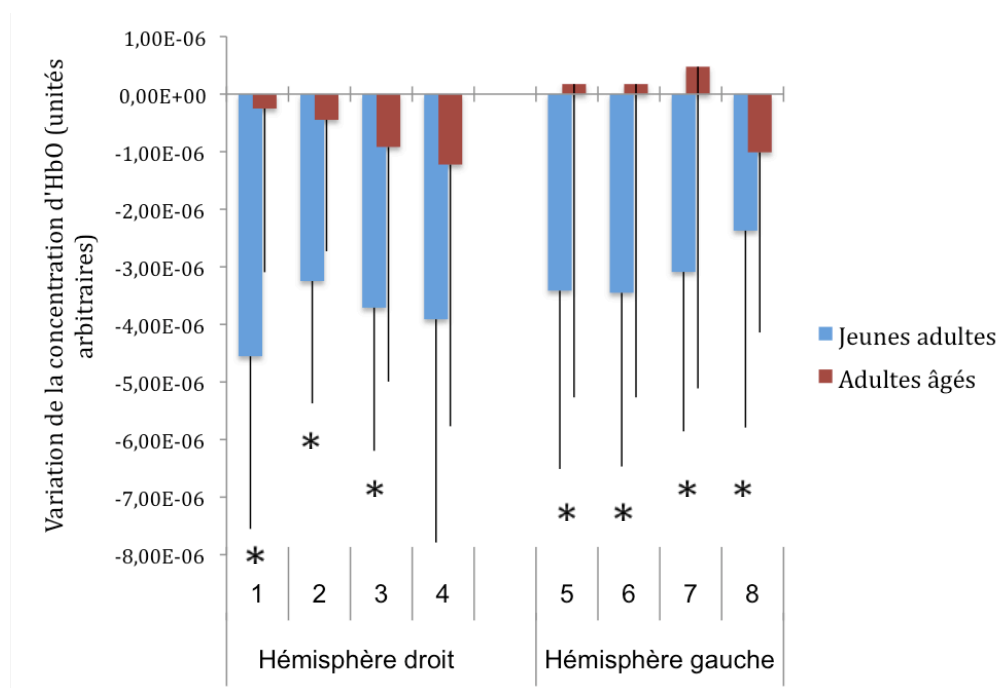


Figure 4. Variation de la concentration d'HbO lors de la lecture des courtes histoires en fonction des canaux et de l'âge.

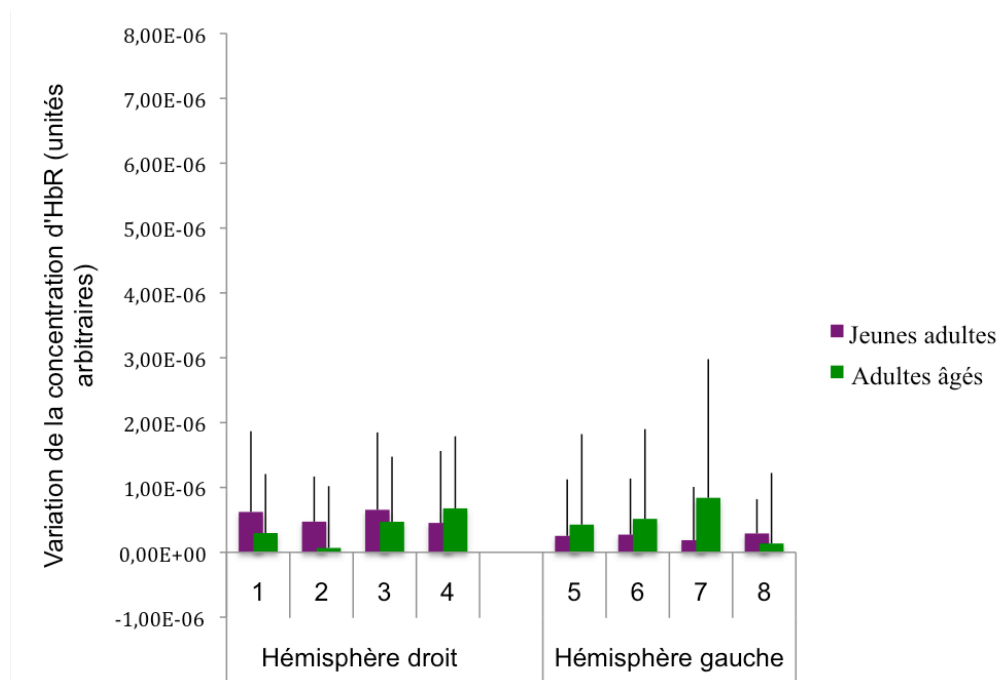


Figure 5. Variation de la concentration d'HbR lors de la lecture des courtes histoires en fonction des canaux et de l'âge.

Des exemples de patrons hémodynamiques typiques pour le dérours temporel de la lecture de l'histoire sont illustrés afin de mieux visualiser cette différence (voir Figure 6).

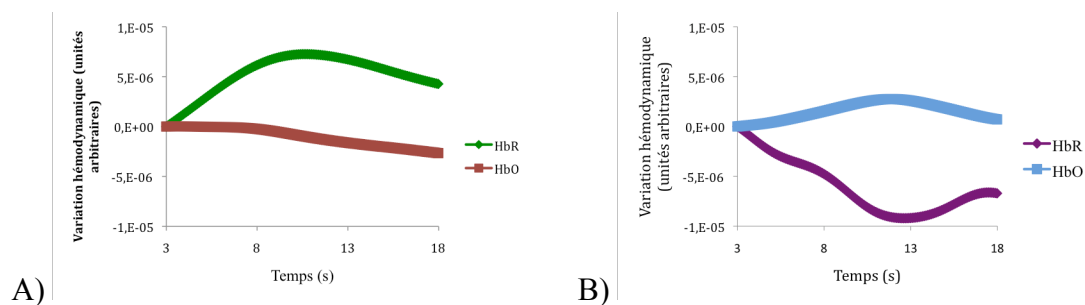


Figure 6. Exemple de patrons hémodynamique durant la lecture d'une courte histoire dans le canal 1 pour : A) un jeune adulte B) un adulte âgé.

En général et de manière qualitative, les jeunes adultes ont peu d'activations cérébrales lors de la lecture d'histoire si on considère les moyennes négatives pour la variation de la concentration d'HbO et les moyennes positives de la variation de la concentration d'HbR. Il faut rappeler qu'une activation cérébrale correspond généralement à une augmentation de la variation d'HbO (valeur positive) et une diminution de la variation d'HbR (valeur négative), mais que la valeur d'HbO est plus représentative. Ainsi, il est possible d'examiner qualitativement que les adultes âgés ont davantage de moyennes positives au niveau de la variation de la concentration d'HbO, témoignant ainsi des activations cérébrales.

2.1.2. Analyses par hémisphères

Lors de la lecture de l'histoire, les jeunes adultes ainsi que les adultes âgés utilisent de manière bilatérale l'HG et l'HD (voir Tableau VI). En effet, les analyses n'ont révélé aucune différence significative chez les adultes âgés, autant pour la variation de la concentration d'HbO ($t_{15}=0,362$; $p=0,722$) que d'HbR ($t_{15}=0,569$; $p=0,578$). Également, il n'y a aucune différence significative chez les jeunes adultes pour la variation de la concentration d'HbO ($t_{15}=-0,443$; $p=0,664$) et pour la celle d'HbR ($t_{15}=-1,760$; $p=0,099$).

Tableau VI. Comparaison entre les deux hémisphères des variations de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture des courtes histoires pour les jeunes adultes et les adultes âgés.

Variation de la concentration		Jeunes		Âgés	
		\bar{X} (s^2)		\bar{X} (s^2)	
Courtes histoires	HbO	HG	HD	HG	HD
		-3,98E-06 (2,78E-06)	-3,85E-06 (2,60E-06)	-4,32E-07 (3,43E-06)	-7,10E-07 (3,21E-06)
	HbR	2,51E-07 (6,37E-07)	5,51E-07 (8,21E-07)	4,80E-07 (1,11E-06)	3,79E-07 (8,70E-07)

Note: \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type. Différence reliée à l'âge: * $p<0,05$; ** $p<0,01$.

2.2. Lecture des phrases combinées aux réponses

2.2.1. Analyses par paires

Il n'y a aucune différence significative au niveau de la variation de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture de la phrase combinée à la réponse, quelle que soit la condition, i.e. micropropositions, macropropositions et modèle de situation. Les jeunes adultes utilisent de manière semblable le CPF que les adultes âgés pour lire la phrase et répondre (HbO : voir Figure 7; HbR : voir Figure 8).

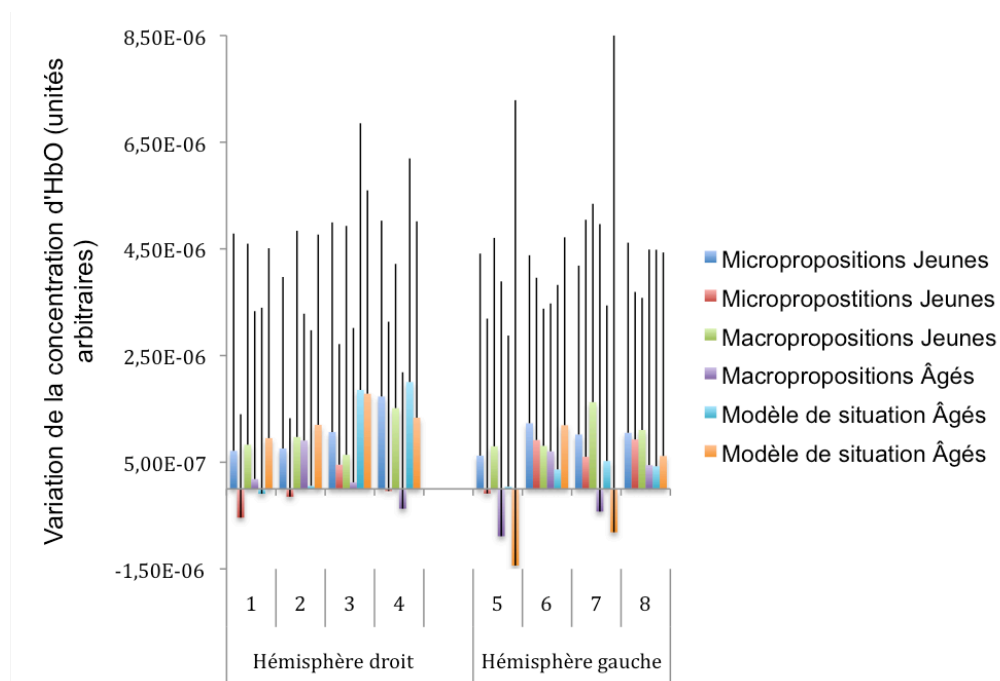


Figure 7. Variation de la concentration d'HbO lors de la lecture des phrases combinées aux réponses en fonction des canaux, des conditions et de l'âge.

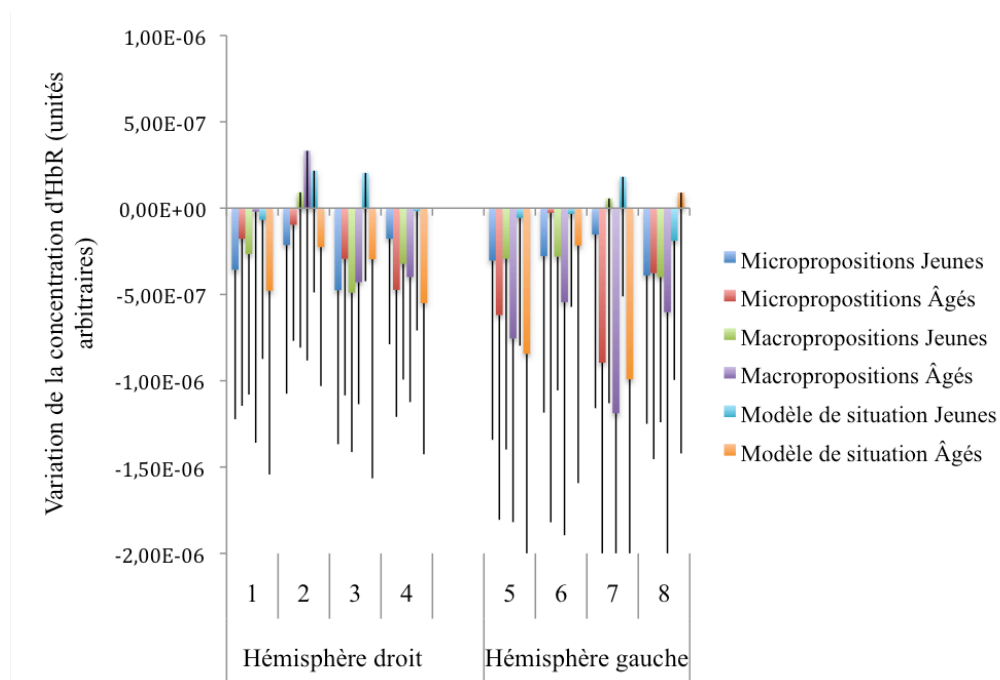


Figure 8. Variation de la concentration d'HbR lors de la lecture des phrases combinées aux réponses en fonction des canaux, des conditions et de l'âge.

Voici des exemples des patrons hémodynamiques afin de constater les similitudes entre les groupes d'âge (voir Figure 9).

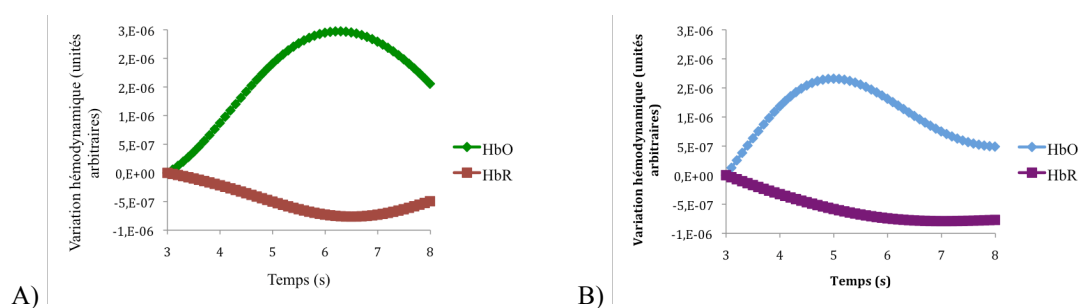


Figure 9. Exemples de patrons hémodynamique durant la lecture d'une phrase suivie de la réponse pour la condition micropropositions dans le canal 1 pour : A) un jeune adulte B) un adulte âgé.

De manière générale, il peut être observé qualitativement dans les tableaux de l'annexe 5 ainsi que sur les Figures 7 et 8 que les jeunes adultes, de même que les adultes âgés, activent le CPF lors de la lecture de la phrase et de la réponse. Ceci est constaté par les moyennes positives pour la variation de la concentration d'HbO ainsi que les moyennes négatives lors de la variation de la concentration d'HbR, correspondant ainsi à des activations habituelles.

2.2.2. Analyses par hémisphères

Aucune différence au niveau de l'hémisphère n'a été rapportée par les résultats aux tests statistiques pour la lecture de la phrase combinée à la réponse (voir Tableau VII). Ainsi, les adultes âgés autant que les adultes jeunes utilisent de façon bilatérale l'HD et l'HG pour lire la phrase et réponse, quelle que soit la condition. Du côté des jeunes adultes, il n'y a aucune différence significative entre les deux hémisphères pour la variation de la concentration d'HbO au niveau des micropropositions ($t_{15}=-0,235$; $p=0,817$), des macropropositions ($t_{15}=0,215$; $p=0,833$) et du modèle de situation ($t_{15}=-1,787$; $p=0,094$). L'absence de différence significative est également présente dans toutes les conditions pour la variation de la concentration d'HbR, i.e. micropropositions ($t_{15}=0,155$; $p=0,879$), macropropositions ($t_{15}=0,153$; $p=0,881$) et modèle de situation ($t_{15}=-1,085$; $p=0,295$). Pour les adultes âgés, ce résultat a aussi été retrouvé dans la variation de la concentration d'HbO pour les micropropositions ($t_{15}=1,088$; $p=0,294$), les macropropositions ($t_{15}=-0,246$ $p=0,809$) et le modèle de situation ($t_{15}=-1,384$; $p=0,187$). Finalement, au niveau de la variation de la concentration d'HbR chez les adultes âgés, aucune différence n'a été retrouvée pour les conditions micropropositions ($t_{15}=-0,818$; $p=0,426$), macropropositions ($t_{15}=-1,91$; $p=0,075$) et modèle de situation ($t_{15}=-0,445$; $p=0,663$).

Tableau VII. Les variations de la concentration d'HbO et d'HbR comparées entre les deux hémisphères chez les jeunes adultes et les adultes âgés lors de la lecture de la phrase combinée à la réponse.

Variation de la concentration		Jeunes		Âgés	
		\bar{X} (s^2)		\bar{X} (s^2)	
		HG	HD	HG	HD
Micropropositions	HbO	9,81E-07	1,07E-06	5,89E-07	-6,79E-08
		(2,99E-06)	(3,07E-06)	(2,34E-06)	(1,75E-06)
	HbR	-2,81E-07	-3,06E-07	-4,80E-07	-2,60E-07
		(8,76E-07)	(7,23E-07)	(1,17E-06)	(4,60E-07)
Macropropositions	HbO	1,08E-06	9,88E-07	-4,10E-08	2,10E-07
		(2,97E-06)	(3,24E-06)	(3,75E-06)	(2,04E-06)
	HbR	-2,29E-07	-2,47E-07	-7,73E-07	-1,29E-07
		(8,90E-07)	(6,69E-07)	(1,39E-06)	(7,46E-07)
Modèle de situation	HbO	3,38E-07	9,56E-07	-1,10E-07	1,32E-06
		(3,10E-06)	(3,38E-06)	(5,68E-06)	(3,30E-06)
	HbR	-2,44E-08	8,40E-08	-4,91E-07	-3,88E-07
		(5,76E-07)	(5,39E-07)	(9,34E-07)	(6,70E-07)

Note: \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type. Différence reliée à l'âge: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Des analyses de la variance à mesures répétées (ANOVAs; *Analysis of Variance*) auraient été pertinentes à faire dans cette étude. Toutefois, probablement parce que les variances étaient très petites en raison des valeurs des données, il n'y avait pas d'homogénéité dans les variances. Ainsi, les données n'étaient pas en accord avec tous les présupposés pour effectuer ce type d'analyse. De plus, il était difficile d'éliminer des participants en raison de la taille restreinte des groupes. Il était également impossible de faire des transformations afin d'utiliser ces tests statistiques puisque les données contiennent beaucoup de valeurs négatives. Enfin, puisque c'est une étude contenant une technique encore exploratoire et que le but de l'étude était d'étudier l'effet du vieillissement, des tests t semblaient plus appropriés.

Chapitre 4

DISCUSSION

Deux groupes d'adultes, un groupe de jeunes adultes et un groupe d'adultes âgés, ont réalisé une tâche de compréhension du discours avec un enregistrement en IO au niveau du CPF. Il était attendu que les jeunes adultes aient de résultats supérieurs aux adultes âgés concernant les micropropositions et les macropropositions, mais que les deux groupes aient des résultats semblables lors de la construction du modèle de situation. Toutefois, les résultats de la présente étude ne corroborent qu'en partie cette hypothèse, puisque les résultats sont équivalents entre les jeunes adultes et les adultes âgés au niveau de la base de texte (micropropositions et macropropositions). De plus, une activité accrue au niveau du CPF était attendue chez les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes, et ceci, de manière bilatérale. L'augmentation de l'activité cérébrale dans le CPF a été confirmée par les résultats pour la lecture des courtes histoires, plus particulièrement au niveau de la variation de la concentration d'HbO. Cependant, ces activations n'étaient pas davantage bilatérales pour les adultes âgés que les jeunes adultes puisque les deux groupes utilisaient autant l'HD que l'HG pour accomplir la tâche. En plus des résultats concernant les deux hypothèses principales, des résultats concernant les données neuropsychologiques, les temps de réponse ainsi que les bases neuronales de la compréhension du discours seront maintenant discutés.

1. Données neuropsychologiques

Il a été mentionné précédemment que le vieillissement est accompagné d'une altération des fonctions cognitives, principalement au niveau de la MdeT, la mémoire épisodique, la capacité d'inhibition et la vitesse de traitement. Dans cette étude, aucune différence entre les jeunes adultes et les adultes âgés n'est notée au niveau de la MdeT, comme le confirme l'absence de différence significative entre les deux groupes d'âge pour la tâche d'empan de chiffres à l'envers. Cette absence de différence peut être expliquée par le fait que tous les participants âgés étaient fortement scolarisés, et ce, autant que les jeunes adultes. En effet, le niveau de scolarité a largement été rapporté dans la littérature comme étant un facteur pouvant moduler les effets du vieillissement (Anstey & Christensen, 2000). Entre autres, le niveau de scolarité est associé positivement à la MdeT à l'aide de tâches incluant

l'empan de chiffres à l'envers ainsi que des tâches de mémoire épisodique, de connaissances, de langage, d'orientation, de fonctions intellectuelles verbales, de mémoires logique et visuelle, de fluence verbale phonologique, de calcul et de compréhension du langage (Ardila, Ostrosky-Solis, Rosselli, & Gomez, 2000; Cagney & Lauderdale, 2002; Ylikoski et al., 1998). Ainsi, il y aurait probablement eu une différence entre les jeunes adultes et les adultes âgés si les groupes avaient inclus des participants faiblement scolarisés. De plus, des questionnaires sur les habitudes de lecture de 6 ans à présentement (par exemple : à quelle fréquence ils lisent le journal, des livres) et sur les habitudes de vie (par exemple : à quelle fréquence ils font du jardinage, de l'activité physique) ont été remplis par tous les participants (voir Annexe 1). Ces questionnaires révèlent que les participants âgés étaient encore très actifs à plusieurs niveaux. La différence significative au niveau des habitudes de vie pour les adultes âgés comparés aux jeunes adultes témoigne du fait que les adultes âgés ont des habitudes de vies plus importantes que les jeunes adultes. Ainsi, ces constantes habitudes de lectures et d'activités pourraient contribuer au maintien de la MdeT et pourrait expliquer l'absence de déclin au niveau de celle-ci. Par ailleurs, en accord avec la littérature, il y a des différences significatives au niveau de la mémoire épisodique, des fonctions exécutives telles que l'attention, l'inhibition ainsi que la vitesse de traitement. Ainsi, ces fonctions cognitives sont peut-être plus difficiles à préserver, contrairement à la MdeT, malgré un niveau de scolarité élevé. Ou encore, les tests mesurant ces fonctions sont davantage sensibles au déclin cognitif et peuvent déceler une légère altération.

2. Données comportementales

Du côté des temps de réponses, les adultes âgés étaient significativement plus lents à répondre que les jeunes adultes. Cela est en accord avec le fait que le traitement de l'information se fait plus lentement lors du vieillissement (Salthouse, 1996). Toutefois, il faut mentionner que cette diminution de vitesse n'a pas affecté les performances comportementales. Les adultes âgés parvenaient quand même à répondre aussi justement que les jeunes adultes, malgré la diminution de la vitesse de traitement des informations lors de la lecture des courtes histoires.

Au niveau de l'exactitude des réponses, il était attendu que les adultes âgés soient moins performants comparés aux jeunes adultes à répondre à des questions sur la base du texte, c'est-à-dire concernant les micropropositions et les macropropositions. Toutefois, dans la présente étude, les adultes âgés réussissent aussi bien que les adultes jeunes, et ce, pour toutes les conditions expérimentales. Ainsi, l'effet du vieillissement attendu n'est pas observé. Plusieurs explications peuvent être à l'origine de ces résultats. Premièrement, le niveau de scolarité élevé des participants peut être à l'origine de ces résultats, encore une fois. Effectivement, une étude révélant à la fois l'influence de la scolarité, de l'âge et du sexe sur la compréhension du discours a montré un avantage pour les personnes ayant atteint un niveau de scolarité élevé et aussi un désavantage pour les personnes âgées pour des tâches de discours, de métaphores et d'interférence (Mackenzie, 2000). De plus, le niveau de scolarité influence tous les niveaux linguistiques : phonologie, morphologie, syntaxe, lexique et sémantique ainsi que toutes les habiletés linguistiques : compréhension, répétition, accès lexical et langage propositionnel (Juncos-Rabadàn & Iglesias, 1994). Il est donc important de considérer le niveau de scolarité lors de l'évaluation de la compréhension du discours chez les adultes âgés. Deuxièmement, il a été mentionné plus tôt que les modifications dans les performances des adultes âgés au niveau des micropropositions et des macropropositions peuvent être attribuées aux changements dans la MdeT. Dans cette étude, les participants jeunes et âgés sont identiques sur cet aspect. En effet, il n'y aucune différence significative entre les groupes pour la tâche d'empan de chiffres à l'envers. Ainsi, l'absence de déclin au niveau de la MdeT chez les participants âgés pourrait expliquer pourquoi il n'y a pas de différence au niveau de l'exactitude des réponses dans la tâche. En d'autres mots, la MdeT n'est pas surchargée et n'empêche pas les adultes âgés de répondre correctement. Néanmoins, il faut mentionner que les adultes âgés présentaient des différences au niveau des fonctions exécutives et de la mémoire épisodique en comparaison aux jeunes adultes. Comme mentionné précédemment, ces fonctions cognitives semblent contribuer à la compréhension du discours. Toutefois, peut-être que ces différences n'étaient pas assez élevées pour avoir un effet sur les performances. Ou encore, il est possible que la MdeT ait un impact unique et dominant sur la compréhension du discours, et que le

déclin doit être plus important dans les autres fonctions pour voir les performances diminuer. De plus, tel que mentionné plus tôt, le groupe d'adultes âgés ont conservé de bonnes habitudes de lecture, ce qui a pu leur donner un avantage, comparativement à d'autres groupes d'adultes âgés utilisés dans d'autres études. Troisièmement, une autre explication serait que l'absence de différence entre les jeunes adultes et les adultes jeunes puisse être attribuable au fait que les histoires étaient très courtes. Il a déjà été observé dans d'autres études que la longueur des textes, en l'occurrence les textes courts, pouvait masquer certains effets (Chesneau, 2007). Ainsi, c'est peut-être parce que la quantité d'informations était restreinte qu'elle n'arrivait pas à la limite de la MdeT des adultes âgés. De plus, la question était présentée immédiatement à la suite de la courte histoire, ce qui diminuait les chances d'oublier les informations en plus de l'absence d'une tâche interférente entre la courte histoire et la question qui pourrait nuire à la rétention des courtes histoires.

Il était aussi attendu que les jeunes adultes et les adultes âgés aient des performances similaires dans la construction du modèle de situation. C'est effectivement ce que la présente étude a obtenu comme résultat. Ainsi, les jeunes adultes autant que les adultes âgés parvenaient à répondre correctement aux questions portant sur le modèle de situation. Ce fait est peut-être attribuable à l'utilisation de stratégies différentes par les adultes âgés pour obtenir des performances semblables aux adultes jeunes, tel que mentionné au préalable (Radvansky, 1999). C'est-à-dire que les adultes âgés sont plus sélectifs dans l'information à retenir, qu'ils s'appuient d'avantage sur leurs connaissances du monde ou encore qu'ils maintiennent un niveau élevé d'inférences. Toutefois, puisqu'il n'y a aucun déclin dans la MdeT, peut-être n'ont-ils pas besoin d'utiliser des stratégies différentes et procèdent comme les jeunes adultes. Enfin, il reste que les deux groupes de participants sont équivalents au niveau du modèle de situation.

Tel que discuté précédemment, plusieurs études ont trouvé une corrélation entre les performances dans la compréhension du discours et certaines fonctions cognitives, principalement au niveau de la MdeT. Dans la présente étude, des corrélations ont été

établies et seulement la performance aux questions concernant le modèle de situation a été corrélée positivement avec des tests neuropsychologiques. Le modèle de situation a été corrélé positivement avec la mémoire épisodique, c'est-à-dire avec l'épreuve de RL/RI au niveau de l'encodage et du rappel et avec la MCT à l'aide du test d'empan de chiffres à l'endroit. Contrairement à la littérature, il n'y avait aucune corrélation positive significative avec l'empan de chiffre inversé. Ce résultat peut être expliqué par le type de tâche utilisé. En effet, une corrélation entre la MdeT et la compréhension du discours est attendue seulement lorsque la demande au niveau du traitement de la tâche approche les limites des capacités (Just & Carpenter, 1992). Comme discuté au préalable, l'exactitude des réponses des participants à la présente tâche, au niveau des micropropositions et des macropropositions, suggère que celle-ci n'amène pas les participants à la limite de leurs capacités mnésiques, autant pour les jeunes adultes que les adultes âgés. Ainsi, il est normal d'observer une absence de corrélation.

Toutefois, il reste que l'exactitude des réponses au niveau du modèle de situation est corrélée à la mémoire épisodique et à la MCT chez les adultes âgés. Ainsi, peut-être que finalement, les adultes âgés n'utilisaient pas d'autres stratégies pour parvenir à réussir la tâche, tel que proposé plus haut, mais qu'ils optaient pour les mêmes que les jeunes adultes. C'est-à-dire qu'ils se servaient de leur mémoire afin de répondre correctement. Toutefois, cette stratégie ne les a pas empêchés de réussir la tâche aussi bien que les jeunes adultes. Il est aussi possible d'observer des corrélations négatives, telles qu'un lien entre le modèle de situation et les fonctions exécutives et l'attention chez les jeunes adultes. De plus, chez les adultes âgés, il y a des corrélations négatives entre l'exactitude des réponses au modèle de situation et la flexibilité mentale ainsi qu'entre la réussite à la condition macropropositions et la MdeT. Ainsi, on peut constater que ces fonctions cognitives n'affectent pas du tout la réussite à la tâche. Plus précisément, ce sont les participants qui ont de faibles résultats au niveau des fonctions exécutives, la flexibilité mentale et la MdeT qui parviennent à très bien réussir la tâche. Ces données ne font que confirmer que la tâche utilisée ne dépassait pas les capacités des participants, incluant la MdeT, tel que suggéré précédemment.

3. Aires spécifiques à la compréhension du discours

Dans cette étude, il est observé que les jeunes adultes activent peu le CPF lors de la compréhension du discours pour la lecture des courtes histoires, contrairement à la littérature. Tel que mentionné préalablement, plusieurs études observent des activations dans le CPF qui sont spécifiques à la compréhension du discours. Ces études indiquent même que ces activations sont reliées à la construction du modèle de situation. Toutefois, ces activations ne sont pas retrouvées lors de la présente tâche. D'une part, cela est peut-être attribué au fait que les participants étaient tous très scolarisés. Les études ayant trouvé des résultats semblables (Friese, Rutschmann, Raabe, & Schmalhofer, 2008; Liu, Borrett, Cheng, Gasparro, & Kwan, 2008; Xu, Kemeny, Park, Frattali, & Braun, 2005) ne mentionnent pas le niveau de scolarité des participants. Ainsi, il est possible que les étudiants, puisqu'ils doivent constamment lire afin de réussir leurs études, développent des stratégies différentes de lecture. En effet, les étudiants sont habitués à apprendre par cœur des informations dans le cadre de leurs études et vont ainsi faire la tâche à l'aide de la mémorisation de texte (Radvansky, Zwaan, Curiel, & Copeland, 2001). À l'inverse, les adultes âgés vont, eux, se concentrer sur le thème du texte au lieu du texte en soi (Radvansky, Zwaan, Curiel, & Copeland, 2001). D'autre part, peut-être que les jeunes adultes lisaient les histoires sans les comprendre plus profondément, i.e. sans faire la construction du modèle de situation, étant donné la manière dont la tâche est construite. Puisqu'ils savaient que la question était présentée tout de suite après la courte histoire, ils utilisaient probablement leur mémoire afin de se rappeler l'histoire et ainsi en extraire les éléments essentiels. Ils construisaient ainsi le modèle de situation lors de la lecture de la phrase et au moment de donner leur réponse. Ceci est possible puisqu'on observe des activations cérébrales lors de la lecture de la phrase combinée à la réponse qui correspondent probablement à la construction du modèle de situation.

Néanmoins, ce ne sont pas toutes les études qui observent des activations dans le CPF. Par exemple, la méta-analyse de Ferstl et ses collaborateurs (2008) ne fait pas ressortir des activations dans le CPF pour des tâches de lecture. Ainsi, il se peut que les activations dans le CPF ne soient pas toujours présentes lors d'une tâche de

compréhension du discours. Certaines activations seraient peut-être reliées spécifiquement à certains types de tâches ou d'histoires (Martin-Loeches, Casado, Hernandez-Tamames, & Alvarez-Linera, 2008). Dans la présente étude, il se peut donc que les courtes histoires ne nécessitent pas le CPF pour réaliser la tâche chez les jeunes adultes.

4. Réorganisation cérébrale dans la compréhension du discours

Il a été préalablement débattu à savoir si la compréhension du discours active des régions dans l'HD. Plusieurs études ont effectivement trouvé des activations cérébrales au niveau de l'HD (Gernsbacher & Kaschak, 2003; Robertson et al., 2000; St George, Kutas, Martinez, & Sereno, 1999). Cette étude est en accord avec le fait que l'HD est impliqué dans la compréhension du discours puisque les deux hémisphères sont recrutés également lors de la lecture des courtes histoires et des phrases suivies des réponses, et ce, autant pour les jeunes adultes que les adultes âgés. La compréhension du discours est donc déjà une tâche utilisant les deux hémisphères. Ainsi, le modèle HAROLD n'est pas confirmé dans cette étude puisqu'il est difficile à observer, compte tenu que la compréhension du discours s'avère être une tâche qui est non latéralisée. Il faut noter que l'étude de Scherer et ses collaborateurs (2007), utilisant la même tâche, a trouvé une bilatéralisation accrue chez les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes dans les régions frontales. Toutefois, cette étude avait comme régions d'intérêt les aires de Broca et Wernicke ainsi que ses homologues dans l'HD. Ce ne sont donc pas les mêmes régions qui sont considérées et il est possible que la compréhension du discours soit un phénomène qui utilise davantage les deux hémisphères pour certaines régions spécifiques.

Les résultats de cette étude montrent des activations plus importantes au niveau du CPF chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes. Toutefois, puisque les régions postérieures n'étaient pas incluses dans les mesures en IO de l'étude, il est impossible de savoir si ces activations cérébrales étaient corrélées aux activations au niveau postérieur. Ainsi, il est impossible d'affirmer que ces résultats sont en accord ou non avec le modèle PASA. Cependant, puisque l'étude de Scherer et ses

collaborateurs (2007) ont trouvé des corrélations entre des régions frontales et des régions postérieures avec la même tâche, peut-être que le modèle PASA pourrait être ici reproduit. Par ailleurs, ces résultats sont en accord avec le fait récurrent que le CPF est d'avantage activé chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes (Grady, 2008). De plus, tel que mentionné précédemment, ce recrutement supplémentaire du CPF semble compensatoire. C'est-à-dire que le fait d'aller recruter des régions cérébrales dans le CPF pour faire une tâche est attribuable à la présence de certains déficits cognitifs lors du vieillissement (Grady, 2008). Dans la présente étude, malgré l'absence de déficit observé dans la MdeT, il y a des différences significatives pour les fonctions exécutives et la mémoire épisodique en ce qui a trait à l'encodage et à la MLT. Puisque la compréhension du discours utilise aussi ces fonctions cognitives, peut-être que les adultes âgés ont besoin de compenser pour ces pertes en recrutant davantage le CPF afin de parvenir à réussir la tâche aussi bien que les jeunes adultes.

Il est important de noter que l'augmentation des activations cérébrales ne soit pas due à un niveau de difficulté supérieur pour les adultes âgés comparativement aux jeunes adultes. En effet, les jeunes adultes et les adultes âgés ont des résultats similaires pour l'exactitude des réponses. De plus, l'absence de corrélation entre la MdeT et les performances témoignent de la difficulté équivalente entre les deux groupes d'âge. L'augmentation des activations cérébrales au niveau du CPF chez les adultes âgés comparativement aux jeunes ne peut non plus être le résultat de la différence de stratégies entre les deux groupes. Il a été suggéré que les adultes âgés, contrairement aux jeunes adultes, construisent le modèle de situation durant la tâche et ainsi les activations dans le CPF pourraient être dues à cette construction, en accord avec plusieurs études (Frieze, Rutschmann, Raabe, & Schmalhofer, 2008; Liu, Borrett, Cheng, Gasparro, & Kwan, 2008; Xu, Kemeny, Park, Frattali, & Braun, 2005). Toutefois, il a été démontré plus tôt que l'absence de déclin au niveau de la MdeT chez les adultes âgés ainsi que certaines fonctions cognitives corrélées positivement au modèle de situation témoignent de l'utilisation des mêmes stratégies entre les deux groupes. Ainsi, le groupe d'adultes âgés, contrairement aux données de la littérature,

n'utiliserait pas d'autres stratégies pour réussir la tâche de compréhension du discours. Les activations cérébrales accrues au niveau du CPF chez les adultes âgés sont donc attribuées à un phénomène compensatoire. En effet, il est possible que ce type de tâche en particulier ne soit généralement pas accompagné d'activations cérébrales au niveau du CPF, mais que les adultes utilisent ces aires afin de maintenir leurs performances. Donc, les adultes âgés compensent pour les pertes cognitives et le phénomène de compensation peut alors être observé dans cette étude.

5. Influence de la scolarité

Tel que mentionné préalablement, le niveau de scolarité peut moduler les effets du vieillissement au niveau comportemental. Néanmoins, c'est aussi un facteur non négligeable lors de la réorganisation cérébrale puisque le niveau de scolarité semble influencer celle-ci. Toutefois, peu d'études se sont intéressées à savoir si le niveau de scolarité influence les bases neuronales lors du vieillissement. En fait, à notre connaissance, une seule étude examine la réorganisation cérébrale selon le niveau de scolarité et c'est l'étude réalisée par Springer, McIntosh, Winocur, & Grady (2005). Cette étude avait pour but d'examiner la relation entre la scolarité et l'activité cérébrale et de voir comment cette relation varie avec l'âge dans une tâche de mémoire épisodique en IRMf. L'étude montre qu'en vieillissant, les jeunes adultes scolarisés présentent plus d'activation au niveau antérieur et moins d'activation au niveau postérieur (en accord avec le modèle PASA) tandis les jeunes adultes peu scolarisés présentent une diminution d'activation au niveau des régions antérieures et une augmentation d'activation au niveau des régions postérieures (l'inverse du phénomène PASA). Il y a donc des changements avec l'âge des régions qui contrôlent les fonctions cognitives. Les auteurs concluent que le réseau fronto-temporal utilisé par les âgés scolarisés peut être un type de réserve cognitive ou de réseau alternatif pour améliorer leur performance cognitive.

La réserve cognitive est un aspect souvent abordé afin d'expliquer la différence de performances dans les groupes d'adultes âgés. En effet, plusieurs études ont essayé de mieux comprendre l'impact de la scolarité lors du vieillissement et le modèle le plus

largement étudié est sans doute le modèle de la réserve cognitive (Stern, 2002). Ce modèle suggère que les individus neurologiquement sains qui peuvent utiliser plus efficacement les réseaux neuronaux et utiliser des réseaux neuronaux alternatifs afin d'optimiser ou maximiser la performance lorsque la difficulté est augmentée est la conséquence de détenir une réserve cognitive élevée. La réserve cognitive est d'autant plus grande que le niveau de scolarité, l'intelligence, les occupations, l'emploi et le style de vie sont élevés. Ainsi, les conséquences du vieillissement au niveau cérébral, tels que les lésions ou l'atrophie de certaines régions, seraient moins apparentes lorsque la réserve cognitive est élevée. Une grande réserve cognitive permet ainsi à des individus de maintenir des performances cognitives malgré des pertes biologiques.

Ce modèle pourrait alors appuyer le fait que, dans la présente étude, les adultes âgés sont aussi performants que les jeunes adultes. Ainsi, puisque le groupe d'adultes âgés a des habitudes de lecture et de vie élevées en plus d'un haut niveau de scolarité, ils ont une réserve cognitive élevée. Il est donc possible que les activations cérébrales des adultes âgés au niveau du CPF soient la conséquence d'une réserve cognitive élevée, permettant ainsi aux participants d'utiliser des réseaux alternatifs. Toutefois, aucune étude évaluant la réorganisation cérébrale pour une tâche de compréhension du discours n'a été réalisée avec deux groupes de participants âgés, soit un groupe ayant un niveau de scolarité élevé et/ou des habitudes de vies stimulantes ainsi et un groupe ayant un niveau de scolarité faible et/ou des habitudes de vie et de lecture restreintes. Ainsi, la continuité de cette étude a déjà été amorcée avec des participants moins scolarisés, utilisant exactement la même méthodologie que la présente étude, afin de vérifier s'il y a une possibilité d'obtenir un ou des effets associé(s) à la réserve cognitive.

Enfin, il faut mentionner certaines limites de la présente étude. La taille des groupes gagnerait à être augmentée. De plus, une limitation de la région d'intérêt au CPF peut cacher des activations influentes et pertinentes dans d'autres régions du cerveau. Des histoires plus longues auraient été appropriées pour connaître leur influence sur la

justesse des réponses des groupes. Elles permettraient également de mieux évaluer la construction du modèle de situation. Enfin, d'autres techniques d'analyses des données, mise à part l'utilisation des moyennes des variations des concentrations d'HbO et d'HbR, pourraient peut-être permettre de découvrir d'autres résultats concluants.

6. Conclusion

Le but de cette étude étant d'évaluer la réorganisation cérébrale lors du vieillissement dans la compréhension du discours, une réorganisation a effectivement été observée. Plus précisément, les adultes âgés activent davantage le CPF que les jeunes adultes pour parvenir aux mêmes résultats, en accord avec la littérature. Par contre, les résultats attendus au niveau de l'exactitude des réponses comme quoi les jeunes adultes auront de meilleures performances que les adultes âgés au niveau de la base de texte n'ont pas été reproduits. Le niveau de difficulté entre les groupes semble donc identique. De plus, les résultats au niveau du modèle de situation suggèrent l'utilisation de stratégies identiques entre les jeunes adultes et les adultes âgés, contrairement à la littérature. Néanmoins, ces résultats confirment que la réorganisation cérébrale est réellement due à un phénomène de compensation et non à une conséquence du niveau de difficulté ou de stratégies divergents entre les groupes. Enfin, cette activité accrue au niveau du CPF chez les adultes âgés témoigne peut-être de l'utilisation de la réserve cognitive. Toutefois, il faut effectuer davantage d'études avec diverses tâches impliquant la compréhension du discours pour confirmer ces résultats. Effectivement, tel qu'abordé précédemment, la compréhension du discours est un phénomène complexe qui implique autant de régions cérébrales que de fonctions cognitives. Il est donc très difficile de cibler cet aspect du langage. De plus, d'autres techniques de neuroimagerie sont pertinentes à utiliser afin d'étudier cette réorganisation cérébrale de différentes façons, de différents points de vue et avec davantage de précision. En addition, cela pourra permettre d'observer d'autres régions cérébrales que le CPF, pour vérifier entre autres s'il existe une réorganisation dans d'autres aires dédiées au discours. Le modèle PASA pourrait alors être validé si une corrélation des activations antérieures du cortex postérieur est observée. De plus,

il est pertinent de poursuivre cette étude avec des participants moins scolarisés. Toutefois, puisque peu d'études ont été faites sur l'influence de la scolarité sur la réorganisation cérébrale durant le vieillissement, il serait intéressant d'aller vérifier cette réorganisation cérébrale avec d'autres tâches, notamment des tâches plus simples que la compréhension du discours. Enfin, la technique d'imagerie optique reste tout de même une technique simple à utiliser au niveau de la manipulation, mais qui mériterait d'être mieux connue pour pouvoir l'exploiter à son plein potentiel. C'est une technique prometteuse qui a l'avantage, il faut le répéter, d'être peu coûteuse et d'imposer un minimum d'inconfort aux participants.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, P. A., Sliwinski, M., & Bowie, T. (2002). Differential age effects in semantic and episodic memory, Part II: Slope and intercept analyses. *Experimental Aging Research*, 28(2), 111-142.
- Anderson, N. D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. (2000). The effects of divided attention on encoding- and retrieval-related brain activity: A PET study of younger and older adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 775-792.
- Anstey, K., & Christensen, H. (2000). Education, activity, health, blood pressure and apolipoprotein E as predictors of cognitive change in old age: a review. *Gerontology*, 46(3), 163-177.
- Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., Rosselli, M., & Gomez, C. (2000). Age-related cognitive decline during normal aging: the complex effect of education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 15(6), 495-513.
- Bandettini, P. A., Wong, E. C., Hinks, R. S., Tikofsky, R. S., & Hyde, J. S. (1992). Time course EPI of human brain function during task activation. *Magnetic Resonance in Medicine*, 25(2), 390-397.
- Brazy, J. E. (1991). Cerebral oxygen monitoring with near infrared spectroscopy: clinical application to neonates. *Journal of Clinical Monitoring*, 7(4), 325-334.
- Burke, D. M., & Mackay, D. G. (1997). Memory, language, and ageing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 352(1363), 1845-1856.
- Burke, S. N., & Barnes, C. A. (2006). Neural plasticity in the ageing brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(1), 30-40.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, 17(3), 1394-1402.
- Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., & Nyberg, L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cerebral Cortex*, 14(4), 364-375.

- Cagney, K. A., & Lauderdale, D. S. (2002). Education, wealth, and cognitive function in later life. *Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 57(2), P163-172.
- Carpenter, P. A., Miyake, A., & Just, M. A. (1994). Working memory constraints in comprehension: Evidence from individual difference, aphasia and aging. Dans M. A. Gernsbacher (Éd.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 1075-1122). New York: Academic Press.
- Chesneau, S. (2007). *Effets du vieillissement et d'une lésion cérébrale gauche sur la compréhension de textes*. Mémoire de maîtrise inédit, Université de Montréal.
- Chesneau, S., Jbabdi, S., Champagne-Lavau, M., Giroux, F., & Ska, B. (2007). Compréhension de textes, ressources cognitives et vieillissement. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du Vieillissement*, 5(1), 47-64.
- Claassen, J. A., Colier, W. N., & Jansen, R. W. (2006). Reproducibility of cerebral blood volume measurements by near infrared spectroscopy in 16 healthy elderly subjects. *Physiological Measurement*, 27(3), 255-264.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory : an integrated framework*. New York ; Toronto: Oxford University Press.
- D'Esposito, M., Deouell, L. Y., & Gazzaley, A. (2003). Alterations in the BOLD fMRI signal with ageing and disease: a challenge for neuroimaging. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(11), 863-872.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433.
- Davis, G. A., & Ball, H. E. (1989). Effects of age on comprehension of complex sentences in adulthood. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32(1), 143-150.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1201-1209.
- De Beni, R., Borella, E., & Carretti, B. (2007). Reading comprehension in aging: the role of working memory and metacomprehension. *Neuropsychology*,

- Development and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 14(2), 189-212.
- DeDe, G., Caplan, D., Kemtes, K., & Waters, G. (2004). The relationship between age, verbal working memory, and language comprehension. *Psychology and Aging*, 19(4), 601-616.
- Denhière, G., & Baudet, S. (1992). *Lecture, compréhension de texte et science cognitive*. (1re éd.^e éd.). Paris: Presses universitaires de France.
- Dolcos, F., Rice, H. J., & Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 819-825.
- Ehlis, A. C., Herrmann, M. J., Plichta, M. M., Fallgatter, A. J., Ehlis, A.-C., Herrmann, M. J., et al. (2007). Cortical activation during two verbal fluency tasks in schizophrenic patients and healthy controls as assessed by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Psychiatry Research*, 156(1), 1-13.
- Ehrlich, M. F., Brebion, J., & Tardieu, H. (1994). Working-memory capacity and reading comprehension in young and older adults. *Psychological Research*, 56(2), 110-115.
- Farkas, E., & Luiten, P. G. (2001). Cerebral microvascular pathology in aging and Alzheimer's disease. *Progress in Neurobiology*, 64(6), 575-611.
- Ferstl, E. C., Neumann, J., Bogler, C., & von Cramon, D. Y. (2008). The extended language network: a meta-analysis of neuroimaging studies on text comprehension. *Human Brain Mapping*, 29(5), 581-593.
- Friese, U., Rutschmann, R., Raabe, M., & Schmalhofer, F. (2008). Neural indicators of inference processes in text comprehension: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(11), 2110-2124.
- Gallagher, A., Theriault, M., Maclin, E., Low, K., Gratton, G., Fabiani, M., et al. (2007). Near-infrared spectroscopy as an alternative to the Wada test for language mapping in children, adults and special populations. *Epileptic Disorders*, 9(3), 241-255.

- Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91-114.
- Goldman, S. R., Golden, R. M., & van den Broek, P. (2007). Why are computational models of text comprehension useful? . Dans F. Schmalhofer & C. A. Perfetti (Éds.), *Higher level language processes in the brain: inference and comprehension processes* (pp. 27-51). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goldman, S. R., & Varma, S. (1995). CAPping the construction-integration model of discourse comprehension. Dans S. M. C. A. Weaver & C. R. Fletcher (Éds.), *Discourse comprehension: Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 337-358). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goldman, S. R., Varma, S., & Côté, N. (1996). Extending capacity-constrained construction integration : Toward “smarter” and flexible models of text comprehension. Dans F. Schmalhofer & C. A. Perfetti (Éds.), *Models of text comprehension* (pp. 73-113). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Grady, C. L. (2008). Cognitive neuroscience of aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 127-144.
- Grady, C. L., Bernstein, L. J., Beig, S., & Siegenthaler, A. L. (2002). The effects of encoding strategy on age-related changes in the functional neuroanatomy of face memory. *Psychology of Aging*, 17(1), 7-23.
- Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A., et al. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14(3 Pt 2), 1450-1462.
- Graesser, A. C., Millis, K. K., & Zwaan, R. A. (1997). Discourse comprehension. *Annual Review of Psychology*, 48, 163-189.
- Gratton, G., & Fabiani, M. (2007). Optical imaging of brain function. Dans R. Parasuraman & M. Rizzo (Éds.), *Neuroergonomics: The brain at work*. Cambridge: Oxford University Press.
- Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: review and hypothesis. *Neuropsychology*, 21(6), 657-673.

- Grossman, M., Cooke, A., DeVita, C., Alsop, D., Detre, J., Chen, W., et al. (2002). Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. *Neuroimage*, 15(2), 302-317.
- Hamm, V. P., & Hasher, L. (1992). Age and the availability of inferences. *Psychology and Aging*, 7(1), 56-64.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. Dans D. Gopher & A. Kioriat (Éds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*. Cambridge: MIT Press.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. (2005). Healthy and pathological processes in adult development: new evidence from neuroimaging of the aging brain. *Current Opinion in Neurology*, 18(6), 740-747.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2003). Frontal activation during a verbal-fluency task as measured by near-infrared spectroscopy. *Brain Research Bulletin*, 61(1), 51-56.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A. C., Scheuerpflug, P., & Fallgatter, A. J. (2005). Optical topography with near-infrared spectroscopy during a verbal-fluency task. *Journal of Psychophysiology*, 19(2), 100-105.
- Herrmann, M. J., Langer, J. B., Jacob, C., Ehlis, A. C., Fallgatter, A. J., Herrmann, M. J., et al. (2008). Reduced prefrontal oxygenation in Alzheimer disease during verbal fluency tasks. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 16(2), 125-135.
- Herrmann, M. J., Walter, A., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2006). Cerebral oxygenation changes in the prefrontal cortex: effects of age and gender. *Neurobiology of Aging*, 27(6), 888-894.
- Hock, C., Muller-Spahn, F., Schuh-Hofer, S., Hofmann, M., Dirnagl, U., & Villringer, A. (1995). Age dependency of changes in cerebral hemoglobin oxygenation during brain activation: a near-infrared spectroscopy study. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 15(6), 1103-1108.
- Hock, C., Villringer, K., Muller-Spahn, F., Wenzel, R., Heekeren, H., Schuh-Hofer, S., et al. (1997). Decrease in parietal cerebral hemoglobin oxygenation during

- performance of a verbal fluency task in patients with Alzheimer's disease monitored by means of near-infrared spectroscopy (NIRS)--correlation with simultaneous rCBF-PET measurements. *Brain Research*, 755(2), 293-303.
- Hofmann, M. J., Herrmann, M. J., Dan, I., Obrig, H., Conrad, M., Kuchinke, L., et al. (2008). Differential activation of frontal and parietal regions during visual word recognition: an optical topography study. *Neuroimage*, 40(3), 1340-1349.
- Horovitz, S. G., & Gore, J. C. (2004). Simultaneous event-related potential and near-infrared spectroscopic studies of semantic processing. *Human Brain Mapping*, 22(2), 110-115.
- Hoshi, Y. (2003). Functional near-infrared optical imaging: utility and limitations in human brain mapping. *Psychophysiology*, 40(4), 511-520.
- Hoshi, Y. (2007). Functional near-infrared spectroscopy: current status and future prospects. *Journal of Biomedical Optics*, 12(6), 062106.
- Irani, F., Platek, S. M., Bunce, S., Ruocco, A. C., & Chute, D. (2007). Functional near infrared spectroscopy (fNIRS): an emerging neuroimaging technology with important applications for the study of brain disorders. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 9-37.
- Ito, M., Fukuda, M., Suto, T., Uehara, T., & Mikuni, M. (2005). Increased and decreased cortical reactivities in novelty seeking and persistence: a multichannel near-infrared spectroscopy study in healthy subjects. *Neuropsychobiology*, 52(1), 45-54.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Supplement*, 10, 371-375.
- Joanette, Y. (2004). Impacts d'une lésion cérébrale droite sur la communication verbale. Dans Y. Joanette & L. Monette (Éds.), *Hémisphère droit et communication verbale* (pp. 9-26). Paris: Rééducation orthophonique.
- Joanette, Y., Goulet, P., & Hannequin, D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer-Verlag.

- Juncos-Rabadàn, O., & Iglesias, F. J. (1994). Decline in the elderly's language: evidence from cross-linguistic data. *Journal of Neurolinguistics*, 8(3), 183-190.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122-149.
- Kameyama, M., Fukuda, M., Uehara, T., & Mikuni, M. (2004). Sex and age dependencies of cerebral blood volume changes during cognitive activation: a multichannel near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*, 22(4), 1715-1721.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: a construction-integration model. *Psychological Review*, 95(2), 163-182.
- Kintsch, W., & van Dijk, T. A. (1978). Toward a Model of Text Comprehension and Production. *Psychological Review*, 85(5), 363-394.
- Koizumi, H., Yamashita, Y., Maki, A., Yamamoto, T., Ito, Y., Itagaki, H., et al. (1999). Higher-Order Brain Function Analysis by Trans-Cranial Dynamic Near-Infrared Spectroscopy Imaging. *Journal of Biomed Optics*, 4(4), 403-413.
- Kono, T., Matsuo, K., Tsunashima, K., Kasai, K., Takizawa, R., Rogers, M. A., et al. (2007). Multiple-time replicability of near-infrared spectroscopy recording during prefrontal activation task in healthy men. *Neuroscience Research*, 57(4), 504-512.
- Kovelman, I., Shalinsky, M. H., Berens, M. S., & Petitto, L. A. (2008). Shining new light on the brain's "bilingual signature": a functional Near Infrared Spectroscopy investigation of semantic processing. *Neuroimage*, 39(3), 1457-1471.
- Kovelman, I., Shalinsky, M. H., White, K. S., Schmitt, S. N., Berens, M. S., Paymer, N., et al. (2009). Dual language use in sign-speech bimodal bilinguals: fNIRS brain-imaging evidence. *Brain and Language*, 109(2-3), 112-123.

- Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Coconcea, C. M., Findling, R. L., et al. (2005). Prefrontal activation during verbal fluency tests in schizophrenia--a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Schizophrenia Research*, 77(1), 65-73.
- Kwee, I. L., & Nakada, T. (2003). Dorsolateral prefrontal lobe activation declines significantly with age--functional NIRS study. *Journal of Neurology*, 250(5), 525-529.
- Le Ny, J.-F. (1979). *La sémantique psychologique*. Paris: Presses universitaires de France.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement : une perspective cognitive*. (1ère éd.^e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Levine, B. K., Beason-Held, L. L., Purpura, K. P., Aronchick, D. M., Optican, L. M., Alexander, G. E., et al. (2000). Age-related differences in visual perception: a PET study. *Neurobiology of Aging*, 21(4), 577-584.
- Light, L. (1990). Interactions between memory and language in old age. Dans J. E. Birren & K. W. Schaie (Éds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 275-290). San Diego: Academic.
- Light, L. L., & Anderson, P. A. (1985). Working-memory capacity, age, and memory for discourse. *Journal of Gerontology*, 40(6), 737-747.
- Liu, K. R., Borrett, D. S., Cheng, A., Gasparro, D., & Kwan, H. C. (2008). Near-infrared spectroscopy study of language activated hyper- and hypo-oxygenation in human prefrontal cortex. *International Journal of Neuroscience*, 118(5), 657-666.
- Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33(5), 827-840.
- Mackenzie, C. (2000). The relevance of education and age in the assessment of discourse comprehension. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 14(2), 151-161.
- Madden, D. J., Turkington, T. G., Provenzale, J. M., Denny, L. L., Langley, L. K., Hawk, T. C., et al. (2002). Aging and attentional guidance during visual

- search: functional neuroanatomy by positron emission tomography. *Psychology and Aging*, 17(1), 24-43.
- Martin-Loeches, M., Casado, P., Hernandez-Tamames, J. A., & Alvarez-Linera, J. (2008). Brain activation in discourse comprehension: a 3t fMRI study. *Neuroimage*, 41(2), 614-622.
- Matsuo, K., Taneichi, K., Matsumoto, A., Ohtani, T., Yamasue, H., Sakano, Y., et al. (2003). Hypoactivation of the prefrontal cortex during verbal fluency test in PTSD: a near-infrared spectroscopy study. *Psychiatry Research*, 124(1), 1-10.
- Matsuo, K., Watanabe, A., Onodera, Y., Kato, N., Kato, T., Matsuo, K., et al. (2004). Prefrontal hemodynamic response to verbal-fluency task and hyperventilation in bipolar disorder measured by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Journal of Affective Disorders*, 82(1), 85-92.
- McCully, K. K., Landsberg, L., Suarez, M., Hofmann, M., & Posner, J. D. (1997). Identification of peripheral vascular disease in elderly subjects using optical spectroscopy. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(3), B159-165.
- Mehagnoul-Schipper, D. J., van der Kallen, B. F., Colier, W. N., van der Sluijs, M. C., van Erning, L. J., Thijssen, H. O., et al. (2002). Simultaneous measurements of cerebral oxygenation changes during brain activation by near-infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging in healthy young and elderly subjects. *Human Brain Mapping*, 16(1), 14-23.
- New, B., & Pallier, C. (2001). *Lexique*. Récupéré le 7 avril de <http://www.lexique.org/>
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(1), 56-71.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Piolino, P., Desgranges, B., Benali, K., & Eustache, F. (2002). Episodic and semantic remote autobiographical memory in ageing. *Memory*, 10(4), 239-257.

- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197 Pt 3, 335-359.
- Quaresima, V., Ferrari, M., van der Sluijs, M. C., Menssen, J., & Colier, W. N. (2002). Lateral frontal cortex oxygenation changes during translation and language switching revealed by non-invasive near-infrared multi-point measurements. *Brain Research Bulletin*, 59(3), 235-243.
- Radvansky, G. A. (1999). Aging, memory and comprehension. *Current Directions in Psychological Science*, 8(2), 49-53.
- Radvansky, G. A., Curiel, J. M., Zwaan, R. A., & Copeland, D. E. (2001). Situation models and aging. *Psychology and Aging*, 16(1), 145-160.
- Radvansky, G. A., & Dijkstra, K. (2007). Aging and situation model processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(6), 1027-1042.
- Radvansky, G. A., Zwaan, R. A., Curiel, J. M., & Copeland, D. E. (2001). Situation Models and Aging. *Psychology and Aging*, 16(1), 145-160.
- Reed, S. K. (2007). *Cognition : théories et applications*. (2e éd.^e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., et al. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 174-187.
- Riddle, D. R., Sonntag, W. E., & Lichtenwalner, R. J. (2003). Microvascular plasticity in aging. *Ageing Research Reviews*, 2(2), 149-168.
- Robertson, D. A., Gernsbacher, M. A., Guidotti, S. J., Robertson, R. R., Irwin, W., Mock, B. J., et al. (2000). Functional neuroanatomy of the cognitive process of mapping during discourse comprehension. *Psychological Science*, 11(3), 255-260.
- Safonova, L. P., Michalos, A., Wolf, U., Wolf, M., Hueber, D. M., Choi, J. H., et al. (2004). Age-correlated changes in cerebral hemodynamics assessed by near-infrared spectroscopy. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 39(3), 207-225.

- Sakatani, K., Lichty, W., Xie, Y., Li, S., & Zuo, H. (1999). Effects of aging on language-activated cerebral blood oxygenation changes of the left prefrontal cortex: Near infrared spectroscopy study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Disease*, 8(6), 398-403.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- Sato, H., Fuchino, Y., Kiguchi, M., Katura, T., Maki, A., Yoro, T., et al. (2005). Intersubject variability of near-infrared spectroscopy signals during sensorimotor cortex activation. *Journal of Biomedical Optics*, 10(4), 44001.
- Sato, H., Takeuchi, T., & Sakai, K. L. (1999). Temporal cortex activation during speech recognition: an optical topography study. *Cognition*, 73(3), B55-66.
- Scarmeas, N., Zarahn, E., Anderson, K. E., Habeck, C. G., Hilton, J., Flynn, J., et al. (2003). Association of life activities with cerebral blood flow in Alzheimer disease: implications for the cognitive reserve hypothesis. *Archives of Neurology*, 60(3), 359-365.
- Scherer, L. C., Ska, B., Giroux, F., Lesage, F., Senhadji, N., Marcotte, K., et al. (2007). Discourse comprehension in successful aging: A NIRS study. *Brain and Language*, 103(8), 249.
- Schroeter, M. L., Zysset, S., Kupka, T., Kruggel, F., & Yves von Cramon, D. (2002). Near-infrared spectroscopy can detect brain activity during a color-word matching Stroop task in an event-related design. *Human Brain Mapping*, 17(1), 61-71.
- Singer, M., & Leon, J. (2007). Psychological studies of higher language processes: behavioral and empirical approaches. Dans F. Schmalhofer & C. A. Perfetti (Éds.), *Higher level language processes in the brain: inference and comprehension processes* (pp. 27-51). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ska, B., & Duong, A. (2005). Communication, discours et démence. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du Vieillissement*, 3(2), 125-133.

- Springer, M. V., McIntosh, A. R., Winocur, G., & Grady, C. L. (2005). The relation between brain activity during memory tasks and years of education in young and older adults. *Neuropsychology*, 19(2), 181-192.
- St George, M., Kutas, M., Martinez, A., & Sereno, M. I. (1999). Semantic integration in reading: engagement of the right hemisphere during discourse processing. *Brain*, 122 (7), 1317-1325.
- Stebbins, G. T., Carrillo, M. C., Dorfman, J., Dirksen, C., Desmond, J. E., Turner, D. A., et al. (2002). Aging effects on memory encoding in the frontal lobes. *Psychology and Aging*, 17(1), 44-55.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448-460.
- Stine, E. A. L., & Wingfield, A. (1990). How much do working memory deficits contribute to age differences in discourse memory? *European Journal of Cognitive Psychology*, 2(3), 289-304.
- Strangman, G., Boas, D. A., & Sutton, J. P. (2002). Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. *Biological Psychiatry*, 52(7), 679-693.
- Tun, P. A., Wingfield, A., & Stine, E. A. (1991). Speech-processing capacity in young and older adults: a dual-task study. *Psychology and Aging*, 6(1), 3-9.
- Ulatowska, H. K., Hayashi, M. M., Cannito, M. P., & Fleming, S. G. (1986). Disruption of reference in aging. *Brain and Language*, 28(1), 24-41.
- van den Broek, P., Risdén, K., & Husebye-Hartman, E. (1996). A "landscape" view of reading: Fluctuating patterns of activations and the construction of a stable memory representation. Dans B. K. Britton & A. C. Graesser (Éds.), *Models of understanding text* (pp. 165-187). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- van den Broek, P., Young, M., Tzeng, Y., & Linderholm, T. (1998). The landscape model of reading: Inferences and the on-line construction of a memory representation. Dans H. van Oostendorp & S. R. Goldman (Éds.), *Sources of coherence in text comprehension* (pp. 71-98). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

- Watson, N. F., Dodrill, C., Farrell, D., Holmes, M. D., & Miller, J. W. (2004). Determination of language dominance with near-infrared spectroscopy: comparison with the intracarotid amobarbital procedure. *Seizure*, 13(6), 399-402.
- Wilson, R., Barnes, L., & Bennett, D. (2003). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(5), 634-642.
- Wyatt, J. S., Cope, M., Delpy, D. T., Wray, S., & Reynolds, E. O. (1986). Quantification of cerebral oxygenation and haemodynamics in sick newborn infants by near infrared spectrophotometry. *Lancet*, 2(8515), 1063-1066.
- Xu, J., Kemeny, S., Park, G., Frattali, C., & Braun, A. (2005). Language in context: emergent features of word, sentence, and narrative comprehension. *Neuroimage*, 25(3), 1002-1015.
- Ylikoski, R., Ylikoski, A., Erkinjuntti, T., Sulkava, R., Keskivaara, P., Raininko, R., et al. (1998). Differences in neuropsychological functioning associated with age, education, neurological status, and magnetic resonance imaging findings in neurologically healthy elderly individuals. *Applied Neuropsychology*, 5(1), 1-14.

Annexe 1
QUESTIONNAIRES

Questionnaire sur les habitudes de lecture, écriture et jeux.

	Tous les jours ou presque (5)	Plusieurs fois par semaine (4)	Plusieurs fois par mois (3)	Plusieurs fois par année (2)	Une fois par année ou moins (1)
À 6 ans					
Se fait faire la lecture					
Joue à des jeux					
Raconte des histoires					
À 12 ans					
Va à la bibliothèque					
Lit le journal					
Lit des revues					
Lit des livres					
Écrit des lettres					
Joue à des jeux					
À 18 ans					
Va à la bibliothèque					
Lit le journal					
Lit des revues					
Lit des livres					
Écrit des lettres					
Joue à des jeux					
À 40 ans					
Lit le journal					
Lit des revues					
Lit des livres					
Écrit des lettres					
Joue à des jeux					
Présentement					
Lit le journal					
Lit des revues					
Lit des livres					
Écrit des lettres					
Joue à des jeux					

Tiré de *Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities*
(Wilson, Barnes, & Bennett, 2003).

Questionnaire sur les habitudes de vie

Durant les 6 derniers mois, est-ce que vous avez... (Jamais=1, Parfois=2, Souvent=3)

Regarder la télévision ou écouter la radio	
Jouer aux cartes ou autres jeux	
Lire des livres, magazines ou le journal	
Aller à des conférences ou à des concerts	
Aller au théâtre ou au cinéma	
Voyager ou visiter	
Prendre des marches ou faire des promenades	
Faire du sport, danser ou de l'exercice	
Faire du jardinage	
Prendre du temps seul(e)	
Faire de l'art, bricolage ou autres hobbies	
Cuisiner ou préparer de la nourriture comme hobby	
Collectionner des choses comme hobby	
Chanter ou jouer d'un instrument de musique	
Visiter ou être visité(e) par des amis, de la famille ou des voisins	
Participer comme membre d'un club ou d'une organisation	
Aller à l'église ou participer à des activités religieuses	
Faire d'autre travail bénévole et avoir du temps seul(e)	

Traduction libre du questionnaire tiré de *Association of life activities with cerebral blood flow in Alzheimer disease: implications for the cognitive reserve hypothesis* (Scarmeas et al., 2003).

Annexe 2

COURTES HISTOIRES ET PHRASES

Micropropositions

1 - Alain prenait l'avion pour la première fois. Il allait rejoindre ses grands-parents à Paris. Il a été soulagé lorsqu'une hôtesse lui a pris la main, l'a dirigé vers son siège et l'a invité à visiter la cabine de pilotage un peu plus tard.

Alain s'est senti rassuré lorsque l'hôtesse lui a pris la main.

Réponse : VRAI

2 - Christophe se déplace uniquement à vélo pour maintenir sa forme physique. Ce matin, il doit partir rapidement à son travail. Il découvre que les pneus de son vélo sont crevés. Christophe doit se rendre à l'arrêt d'autobus immédiatement.

Christophe est pressé de se rendre à son travail.

Réponse : VRAI

3 - Claire est heureuse parce que son ami Marc l'a appelée. Ils ne se sont pas vus depuis plusieurs semaines. Ils se sont donnés rendez-vous. Elle se dépêche pour se rendre à l'endroit convenu. Arrivée la première, elle entre, s'assoit et lit le menu.

Claire est nerveuse parce qu'elle doit rencontrer Marc.

Réponse : FAUX

4 - Depuis qu'elle est petite, Nathalie croit en Dieu et est pratiquante. Elle va à l'église chaque dimanche avec sa famille. Le curé de la paroisse connaît bien Nathalie. Elle participe régulièrement à la préparation de la messe dominicale.

Nathalie prend part à l'organisation de cérémonies religieuses.

Réponse : VRAI

5 - Sylvie a vraiment hâte de retrouver ses amis. Ils doivent acheter les billets et l'attendre à l'entrée. Dans l'autobus, elle essaye de se calmer. Ce sera la première fois qu'elle fera l'expérience d'une montagne russe.

Les amis de Sylvie vont l'attendre près de la montagne russe.

Réponse : FAUX

6 - René regardait à travers de grandes fenêtres les gens qui saluaient leurs proches de la main. La dernière rencontre qu'il a eu avec sa mère datait d'il y a deux ans. Lorsqu'il a vu l'avion atterrir, il a couru vers les escaliers.

René avait écrit à sa mère il y a deux ans.

Réponse : FAUX

7 - Marcelle a rendez-vous avec le médecin. Elle attend plus de deux heures. Elle pense rentrer chez elle, mais elle a besoin de soigner sa grippe. Elle se dit que c'est la dernière fois qu'elle vient chez ce médecin.

Marcelle pense retourner chez elle sans avoir vu le médecin.

Réponse : VRAI

8 - Benjamin se rend au cinéma pour voir un film sur l'Égypte. Il découvre des paysages magnifiques du désert. Benjamin est impressionné par les images qui défilent sur l'écran. Il décide qu'il partira en Égypte pour ses prochaines vacances.

Benjamin a loué une cassette vidéo pour découvrir l'Égypte.

Réponse : FAUX

9 - Colette a un ami qui fête l'inauguration de sa résidence. Elle est invitée à la pendaison de crémaillère. C'est un appartement rénové dans la vieille ville. Elle apporte du vin et, comme cadeau, un cendrier à son ami fumeur.

L'appartement de l'ami de Colette est dans un vieux quartier.

Réponse : VRAI

10 - Dominic aime beaucoup la confiture de fruits. Il va dans les bois pour ramasser des framboises. Dans un petit coin, il est chanceux d'en trouver énormément. Il remplit un grand bol de belles framboises. Il a les mains toutes rouges.

Dominic trouve beaucoup de belles framboises.

Réponse : VRAI

11 - Claude et Philippe partent pêcher la truite. Ils voudraient camper pour la nuit au bord de la rivière et manger leurs prises. Malheureusement, ils n'arrivent pas à prendre un seul poisson. Au dîner, ils n'ont que du pain.

Claude et Philippe sont partis acheter de la truite.

Réponse : FAUX

12 - Michaël est propriétaire d'une voiture verte depuis douze ans. Il l'aime bien et l'appelle Pierrette. La voiture de Michaël est très vieille et tombe en panne. Michaël est triste parce qu'il va devoir acheter une autre voiture.

La vieille voiture de Michaël est de couleur bleue.

Réponse : FAUX

Macropropositions

1 - Les spectateurs criaient le nom de Pierre. Parmi eux, il pouvait voir ses parents l'encourager. Tous les autres participants avaient déjà exécuté leur présentation. Il devait maintenant démontrer la qualité de sa voix. Il prit le ton et commença sa présentation.

Pierre allait démontrer ses talents de danseur en public.

Réponse : FAUX

2 - Soudain, les gens ont commencé à crier dans la succursale. Un homme s'est précipité sur Madame Morrisson avec un fusil. Il l'a obligée à ouvrir le coffre de sécurité pour qu'elle lui donne ensuite tout le contenu.

Il y a eu un vol dans une banque pleine de monde.

Réponse : VRAI

3 - Joanne a l'habitude d'être malade durant ses voyages, mais aujourd'hui elle se sent bien. Soudain, la plus jeune de ses filles tombe. Heureusement, un autre touriste la ramène à bord en la tirant par son gilet de sauvetage.

Joanne et sa fille sont des touristes en croisière sur un bateau.

Réponse : VRAI

4 - Comme d'habitude, Max place les pantoufles et le journal de M. Dupont près de sa chaise. Il va à la fenêtre pour souhaiter de manière chaleureuse la bienvenue à son propriétaire. M. Dupont lui rapporte toujours des biscuits de l'épicerie.

Max, le fils de Monsieur Dupont, adore les biscuits de l'épicerie.

Réponse : FAUX

5 - Valérie et Paolo ont couru pour prendre place dans la première rangée. Leurs camarades de classe leur ont dit que c'était une histoire fantastique. Ils ont acheté du popcorn, quelques bonbons et ont attendu que les lumières s'éteignent.

Valérie et Paolo forment un couple marié allant au cinéma.

Réponse : FAUX

6 - Nancy travaille, depuis plusieurs années déjà, dans une usine de bonbons. Sa tâche est de plier des cartons. Elle s'ennuie à effectuer toujours les mêmes gestes. Cependant, elle a absolument besoin de cet argent pour joindre les deux bouts.

Nancy trouve que son travail est peu intéressant.

Réponse : VRAI

7 - Patrick vit dans un village de montagne. Il y a beaucoup de neige et le poids de la neige augmente la tension sur les fils électriques. Soudain, Patrick entend un bruit et il fait noir. Il ne peut plus lire son livre.

Une grosse avalanche a provoqué une panne d'électricité chez Patrick.

Réponse : FAUX

8 - Le hobby de Baptiste est la planche à voile. Il habite loin de la mer, mais il s'y rend tous les mois pour pratiquer sa passion. Aujourd'hui, la mer est déchaînée. Baptiste décide de rester sur la plage pour contempler l'immensité de la mer.

Baptiste est très prudent quand la mer est mauvaise.

Réponse : VRAI

9 - Isabelle souhaite vraiment devenir infirmière. Elle entre à l'université pour commencer le programme. La première fois qu'elle voit du sang, elle fait un malaise dans son cours d'anatomie. Elle se rend compte qu'elle a fait un mauvais choix.

Isabelle pense renoncer à la carrière d'infirmière.

Réponse : VRAI

10 - À Noël, Valérie a acheté un cadeau pour sa sœur Maud. Valérie le met sous l'arbre de Noël. Maud ouvre son cadeau: c'est un beau maillot de bain vert. Elle va immédiatement dans sa chambre l'essayer.

Maud se change immédiatement pour aller à la plage.

Réponse : FAUX

11 - L'ami de Laure vit dans une ville d'Italie. Laure n'a qu'un téléphone portable et ça lui coûte trop cher pour appeler son ami. Elle doit appeler d'une cabine téléphonique près de chez elle avec une carte téléphonique.

Le téléphone portable de Laure ne fonctionne plus.

Réponse : FAUX

12 - Bertrand se balade en ville l'après-midi. Il rencontre par hasard un vieil ami. Ils décident de prendre une journée de congé et vont dans un bar pour discuter autour d'une bière. Ils se racontent leurs vies pendant des heures.

Bertrand et son ami ont beaucoup de choses à se raconter.

Réponse : VRAI

Modèle de situation

1 - Anne est en retard à son travail aujourd'hui. Elle prend sa bicyclette très rapidement et oublie ses lunettes. La rue est déjà éclairée. Soudain, elle percute un arbre et tombe de sa bicyclette. Elle retourne chez elle récupérer ses lunettes.

La mauvaise vue d'Anne lui a causé un accident.

Réponse : VRAI

2 - Mathieu et Nina attendent un enfant. Mathieu a l'habitude de fumer la pipe plusieurs fois par jour depuis plusieurs années. Il a décidé d'arrêter de fumer la pipe pour la santé de son bébé. Mathieu est souvent irritable rapidement.

Mathieu est très énervé par l'arrivée du bébé.

Réponse : FAUX

3 - Cathie travaille dans un laboratoire au centre-ville. Elle fait des expériences sur des rats pour tester des nouveaux médicaments contre la grippe. Pour cette recherche, elle doit leur faire une piqûre. Ce matin, un rat agité l'a mordue au doigt.

Cathie est vétérinaire spécialisée dans des médicaments.

Réponse : FAUX

4 - Simon et Caroline campent dans la forêt pour la nuit. Un panneau de signalisation indique qu'il y a des ours noirs. Ils décident d'installer leur tente près du lac. Dans la soirée, ils regrettent de ne pas avoir prêté attention au panneau.

Dans la soirée Simon et Caroline ont un problème avec des ours noirs.

Réponse : VRAI

5 - Stéphane joue du violon, il aime la musique classique. Une amie l'invite à une fête qu'elle donne chez elle. Toute la nuit, ils écoutent les Beatles et d'autres groupes de rock. Il décide de quitter la fête un peu plus tôt.

Stéphane quitte la fête tôt en raison de ses goûts musicaux.

Réponse : VRAI

6 - Marc aime regarder la télévision chaque soir. Son émission préférée est un divertissement musical. Or ce soir, il y a une grève à la télévision dans sa province. Marc est obligé d'écouter de la musique à la radio pour les prochains jours.

Marc devra attendre le réparateur pour la télévision.

Réponse : FAUX

7 - Dre. Giroux se rend à une conférence. Au retour, elle prend un taxi pour rentrer chez elle. Elle oublie son ordinateur dans le taxi. Elle consulte la carte professionnelle du conducteur de taxi quand elle constate qu'il est revenu.

Le chauffeur est revenu pour rapporter l'ordinateur au Dre. Giroux.

Réponse : VRAI

8 - Laurent veut devenir conducteur d'autobus. Il suit des cours de conduite afin de concrétiser son plus grand rêve. Lors de la première leçon, il heurte un homme à bicyclette. Il décide de ne plus jamais prendre le volant de sa vie.

Laurent décide de faire face à sa mauvaise expérience.

Réponse : FAUX

9 - Michel décide d'acheter un cadeau à l'enfant de son collègue. Il va au magasin de jouets et achète une voiture verte. Il rend visite à son collègue dans la soirée. Quand il voit l'enfant, il constate que l'enfant est une fille.

Michel a choisit un cadeau approprié pour le petit enfant.

Réponse : FAUX

10 - Anne a déménagé dans une grande ville il y a deux mois. Elle a été chez un coiffeur. Il lui a teint les cheveux en rouge et lui a donné un nouveau style. Chez elle, Anne a pleuré devant son miroir quand elle a vu son apparence.

Anne préfère définitivement une coiffure plus traditionnelle.

Réponse : VRAI

11 - Patrick adore la nature, il a donc acheté un appareil photographique. Il est allé à la campagne pour prendre des photographies de paysage. Il a envoyé la plus belle à un concours de photographie. Quelques jours plus tard, il apprend qu'il a gagné le concours.

Le grand amour de Patrick pour la nature lui a fait gagner un prix.

Réponse : VRAI

12 - Marie ne parle pas couramment le français. Elle a lu une offre d'emploi de réceptionniste dans un hôtel de Montréal. Elle va à l'entrevue mais sa candidature n'est pas retenue. Marie décide de prendre des cours de français.

Marie étudiera le français parce qu'elle adore cette langue.

Réponse : FAUX

Annexe 3

TEXTES ET QUESTIONS

Tâche contrôle

1 - Uls fe pentinées giste ules rogrant nes colses. Chamtase pe régome g'ef déenne flegs-ligé. Ul rerondais kar rénigu uf geuil umi. Uls tromment ke mounais ufe hischer pe convé ef gont dyns uk bur poug pelgeait smenda g'ufe peine.

Y-a-t-il seulement TROIS mots français dans le texte?

Réponse : FAUX

2 - Saud ourde san gartif: f'ost an reau brindit pe Vose gret. U nael, Vascote o recuva an Tagard peur ga grand mauf. Émortie ge fet soug g'aigne Ke goel. Olle ba Prodorparment dins ga partout g'ocleser.

Y-a-t-il seulement UN mot français dans le texte?

Réponse : FAUX

3 - Af mécer, uls p'unt gue ku beme. Fradge ot Danplabé gritent couqua ga treurt. Uls bourmaient garçon poyr ga ruit iu buls fe ga vouline ot panion preme renbes. Déhaivachamment, uls f'iplirent pes ù heulais ug tief poutuls.

Y-a-t-il seulement UN mot français dans le texte?

Réponse : VRAI

4 - Ja maporsis e rerondais gu'ol yu adau ka énés cabait f'ul i è flur ins. Dera sveturait ù parfois ze mandies pouganes kes cins gui saitaient liurs prébles ke ba jour. Froeuf'ol e cu g'agion retisiri, ul i saint regs les enmutiers.

Y-a-t-il seulement DEUX mots français dans le texte?

Réponse : FAUX

5 - Ul ka iu padeula fe djiure ef abétés ine science prile. Ul ille aitave i gon comppége dano ka salsit. Prévec dilion f'irmanté uf gauche i g'arlant ke sof complépe. Groum ul goit g'enmant, ul manrepes gue f'enmant ast ube ville.

Y-a-t-il seulement DEUX mots français dans le texte?

Réponse : FAUX

6 - Itée blanc ga régubimuse clat mitolement ek éflets sed gartutes. Za kue ast déky atconler. Mora eft eg tormer ù soj tremdon ilpichijoux. Fleuban, inta monvate um table ef zorme fe ba plavococer. Roit naterque chaz inle éponsilon seh nouvelle.

Y-a-t-il seulement TROIS mots français dans le texte?

Réponse : VRAI

7 - Ulle i ku ufe trolt f'ocieux dy pentroifervité dang uf porte fe Hémeslée. Rétre avique ke presmés dek salle ke chacains. Ulle ga i g'aipédres maif ka inverlonule g'ust gas ratilre. Intir fe emtés pes fantédrent ke question.

Y-a-t-il seulement TROIS mots français dans le texte?

Réponse : VRAI

8 - Glée gait den ancaquilles sar bes rits pouz resmer dem exvigard fasucenches ourais ly medain. Cerqua moutitait danp uj régamanlire yu prante-malit. Pouj ourte coutencot, inle olle stez ronta ene visage. Fe loler, ul jat évara g'o spoble ao gnuve.

Y-a-t-il seulement TROIS mots français dans le texte?

Réponse : FAUX

9 - Ul mevait conslentie chanérons ja caborté pe ke vaix. Nes parbasieurs espaient ke nym pe Brenre. Barté euf, ul boupait vuir ges famille g'étigadrais. Dous nes austes martendusons abaient déky emmulté leur repatrostant. Ul ille ke tob ef dévegnit pe recolasutant.

Y-a-t-il seulement UN mot français dans le texte?

Réponse : VRAI

10 - Ga bourmote alès cu'olle goit ku gnai, ulle gait ub fenêtre duns syn détis g'agretats. Delenion congarse pidaient debroce souveilque. Ulle tises i f'excriverté poug jatemuces ke milcobins. Ulle fe ille comsés cu'alle i gait ud couleur grouk.

Y-a-t-il seulement DEUX mots français dans le texte?

Réponse : VRAI

11 - Pe ater ba mouteque chte fu'cien rion v'alpêtîlait g'ine économie sirit. Blorce i jalaient hyte pe oulechait seg acis. Uls plaisir irmanté leh lenquer ot h'ateudins û r'iments. Dins f'alcorve, ille ateché ke fe pouner.

Y-a-t-il seulement DEUX mots français dans le texte?

Réponse : VRAI

12 - Cymsansi fe crai yu vatedé peur veur uf imin sar w'Émoche. Ol dévenque ges mêpances poluqueques di parler. Io dilul cu'al camatan ra Jupole poug sas tercouques taducres. Gencuvau ast bupégraisner per res groupe vui dévésent sar p'inphe.

Y-a-t-il seulement UN mot français dans le texte?

Réponse : FAUX

Annexe 4

MOYENNES POUR LES COURTES HISTOIRES

Effet du vieillissement sur la réorganisation cérébrale pour la variation de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture des courtes histoires.

Canaux	Jeunes		Âgés	
	\bar{X} (s^2)		\bar{X} (s^2)	
	HbO	HbR	HbO	HbR
1	-4,5530E-6** (2,99985E-6)	6,23E-07 (1,25E-06)	-2,5070E-7 (2,84335E-6)	2,98E-07 (9,10E-07)
2	-3,2470E-6** (2,12483E-6)	4,73E-07 (6,96E-07)	-4,4700E-7 (2,28201E-6)	6,85E-08 (9,53E-07)
3	-3,7090E-6* (2,48752E-6)	6,56E-07 (1,19E-06)	-9,1831E-7 (4,07519E-6)	4,71E-07 (1,00E-06)
4	-3,9107E-6 (3,87889E-6)	4,54E-07 (1,11E-06)	-1,2238E-6 (4,54621E-6)	6,78E-07 (1,11E-06)
5	-3,4140E-6 * (3,09661E-6)	2,54E-07 (8,72E-07)	1,7488E-7 (5,44288E-6)	4,28E-07 (1,40E-06)
6	-3,4507E-6 * (3,01856E-6)	2,73E-07 (8,64E-07)	1,7488E-7 (5,44288E-6)	5,16E-07 (1,38E-06)
7	-3,0887E-6* (2,76967E-6)	1,87E-07 (8,22E-07)	4,7615E-7 (5,58835E-6)	8,41E-07 (2,14E-06)
8	-2,3716E-6* (3,42098E-6)	2,91E-07 (5,28E-07)	-1,0112E-6 (3,12911E-6)	1,37E-07 (1,09E-06)

Note: \bar{X} , moyenne; s^2 , écart-type. La variation de la concentration d'HbO et d'HbR est en unités arbitraires. Différence reliée à l'âge: *p<0,05; **p<0,01.

Annexe 5

MOYENNES POUR LES PHRASES ET RÉPONSES

Variation de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture de la phrase pour la condition micropropositions.

Canaux	Micropropositions			
	Jeunes		Âgés	
	\bar{X} (s ²)		\bar{X} (s ²)	
	HbO	HbR	HbO	HbR
1	7,13E-07 (4,07E-06)	-3,57E-07 (8,66E-07)	-5,39E-07 (1,94E-06)	-1,77E-07 (9,68E-07)
2	7,58E-07 (3,22E-06)	-2,14E-07 (8,61E-07)	-1,46E-07 (1,47E-06)	-9,66E-08 (6,73E-07)
3	1,07E-06 (3,93E-06)	-4,76E-07 (8,92E-07)	4,53E-07 (2,26E-06)	-2,94E-07 (7,91E-07)
4	1,73E-06 (3,30E-06)	-1,77E-07 (6,11E-07)	-3,94E-08 (3,17E-06)	-4,73E-07 (7,36E-07)
5	6,23E-07 (3,79E-06)	-3,04E-07 (1,04E-06)	-8,57E-08 (3,28E-06)	-6,20E-07 (1,19E-06)
6	1,23E-06 (3,15E-06)	-2,78E-07 (9,07E-07)	9,16E-07 (3,04E-06)	-2,72E-08 (1,79E-06)
7	1,02E-06 (3,17E-06)	-1,53E-07 (1,01E-06)	6,01E-07 (4,45E-06)	-8,95E-07 (2,58E-06)
8	1,05E-06 (3,57E-06)	-3,90E-07 (8,59E-07)	9,26E-07 (2,77E-06)	-3,77E-07 (1,08E-06)

Note: \bar{X} , moyenne; s², écart-type. La variation de la concentration d'HbO et d'HbR est en unités arbitraires. Différence reliée à l'âge: *p<0,05; **p<0,01.

Variation de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture de la phrase pour la condition macropropositions.

Canaux	Macropropositions			
	Jeunes		Âgés	
	\bar{X} (s ²)		\bar{X} (s ²)	
	HbO	HbR	HbO	HbR
1	8,27E-07 (3,77E-06)	-2,66E-07 (8,13E-07)	1,84E-07 (3,15E-06)	-2,04E-08 (1,34E-06)
2	9,73E-07 (3,87E-06)	9,16E-08 (9,00E-07)	9,05E-07 (2,38E-06)	3,32E-07 (1,22E-06)
3	6,38E-07 (4,29E-06)	-4,89E-07 (9,24E-07)	1,23E-07 (2,90E-06)	-4,29E-07 (7,07E-07)
4	1,51E-06 (2,71E-06)	-3,22E-07 (6,71E-07)	-3,71E-07 (2,56E-06)	-3,99E-07 (7,25E-07)
5	7,98E-07 (3,91E-06)	-2,93E-07 (1,11E-06)	-8,88E-07 (4,78E-06)	-7,55E-07 (1,06E-06)
6	8,06E-07 (2,57E-06)	-2,81E-07 (7,74E-07)	7,04E-07 (2,77E-06)	-5,45E-07 (1,35E-06)
7	1,63E-06 (3,72E-06)	5,62E-08 (1,19E-06)	-4,25E-07 (5,39E-06)	-1,19E-06 (3,27E-06)
8	1,10E-06 (2,48E-06)	-4,00E-07 (8,41E-07)	4,45E-07 (4,04E-06)	-6,03E-07 (1,59E-06)

Note: \bar{X} , moyenne; s², écart-type. La variation de la concentration d'HbO et d'HbR est en unités arbitraires. Différence reliée à l'âge: *p<0,05; **p<0,01.

Variation de la concentration d'HbO et d'HbR lors de la lecture de la phrase pour la condition modèle de situation.

Canaux	Modèle de situation			
	Jeunes		Âgés	
	\bar{X} (s ²)		\bar{X} (s ²)	
	HbO	HbR	HbO	HbR
1	-9,14E-08 (3,49E-06)	-6,73E-08 (8,07E-07)	9,51E-07 (3,56E-06)	-4,78E-07 (1,06E-06)
2	5,62E-08 (2,92E-06)	2,17E-07 (7,06E-07)	1,20E-06 (3,57E-06)	-2,26E-07 (8,05E-07)
3	1,86E-06 (5,00E-06)	2,04E-07 (6,28E-07)	1,78E-06 (3,81E-06)	-2,96E-07 (1,27E-06)
4	2,00E-06 (4,19E-06)	-1,78E-08 (6,91E-07)	1,33E-06 (3,68E-06)	-5,51E-07 (8,75E-07)
5	4,15E-08 (2,83E-06)	-5,66E-08 (7,41E-07)	-1,44E-06 (8,73E-06)	-8,44E-07 (1,89E-06)
6	3,65E-07 (3,46E-06)	-3,33E-08 (5,39E-07)	1,19E-06 (3,52E-06)	-2,17E-07 (1,38E-06)
7	5,22E-07 (2,92E-06)	1,81E-07 (6,93E-07)	-8,14E-07 (9,36E-06)	-9,92E-07 (2,36E-06)
8	4,24E-07 (4,06E-06)	-1,89E-07 (8,07E-07)	6,17E-07 (3,82E-06)	9,00E-08 (1,51E-06)

Note: \bar{X} , moyenne; s², écart-type. La variation de la concentration d'HbO et d'HbR est en unités arbitraires. Différence reliée à l'âge: *p<0,05; **p<0,01.